
Ю. А. ШУМИХИН
МАССОВАЯ
РАДИО
БИБЛИОТЕКА
ТЕЛЕВИЗИОННЫЙ
СИГНАЛ

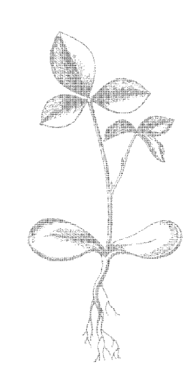
МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 666

Ю. А. ШУМИХИН

ТЕЛЕВИЗИОННЫЙ СИГНАЛ





«ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1968

6Ф3.3
Ш96
УДК 621.397

Шумихин Ю. А.

Ш 96 Телевизионный сигнал. М., «Энергия», 1968.

72 с. с. илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 666). 50 000 экз.

В брошюре рассматриваются свойства телевизионного сигнала, причины его искажений в цепях телевизионного приемника и способы устранения этих искажений.

Брошюра рассчитана на широкий круг радиолюбителей.

3-4-5
370—68

6Ф3.3

ВВЕДЕНИЕ

Телевизионный сигнал есть «электрическая копия» телевизионного изображения. Эта «копия» должна быть предельно точной, для того чтобы изображение на экране кинескопа соответствовало передаваемому с телецентра.

В передающей и приемной телевизионной аппаратуре из-за различных неблагоприятных факторов форма телевизионного сигнала искажается. Надо знать, в чем заключаются эти искажения, и уметь их устранять.

Конечно, радиолюбитель, сконструировавший телевизионный приемник, не может своими силами вести борьбу с теми искажениями сигнала, которые появляются на телецентре. Но этого и не требуется — можно быть уверенным в том, что на современном передающем телецентре принимаются все возможные меры для того, чтобы свести к минимуму искажения передаваемого сигнала.

Другое дело — искажения сигнала в телевизионном приемнике. Устранение этих искажений — прямая задача радиолюбителя, конструирующего приемник.

Но чтобы решить эту задачу, надо хорошо знать свойства телевизионного сигнала, причины его искажений в цепях телевизионного приемника и способы устранения этих искажений.

Эти вопросы и рассматриваются в настоящей брошюре.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ЗНАКОМСТВО С ТЕЛЕВИЗИОННЫМ СИГНАЛОМ

Как получается телевизионный сигнал

Прежде чем начать знакомство со свойствами телевизионного сигнала, проделаем вместе с ним небольшую «экскурсию» по цепям устройств телецентра и телевизионного приемника.

Начнем с передающей телевизионной камеры, где образуется телевизионный сигнал.

Оптическое изображение предмета, который мы хотим передать, проецируется с помощью объектива на светочувствительную поверхность передающей телевизионной трубки. С внутренней стороны светочувствительного слоя под действием света вылетают электроны или же (в трубках другого типа) при этом изменяется электрическая проводимость отдельных участков светочувствительного слоя. Количество электронов, вылетающих с поверхности слоя (или же величина изменения проводимости слоя), определяется освещенностью светочувствительной поверхности. Поэтому оказывается возможным получить электрический сигнал, величина которого зависит от освещенности светочувствительной поверхности передающей трубки.

Освещенность светочувствительной поверхности в свою очередь определяется световым потоком, приходящим от передаваемого изображения. Значит, от передающей телевизионной трубки можно получить электрический сигнал, величина которого соответствует яркости того или иного участка передаваемого изображения.

Такой сигнал принято называть **сигналом изображения**, или **телевизионным видеосигналом**.

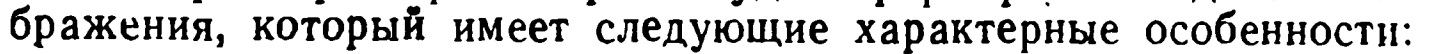
Итак, в любой передающей трубке происходят сложные электрические процессы, но в конечном счете получается видеосигнал, соответствующий яркости передаваемого изображения. Однако различные участки передаваемого изображения имеют разную яркость. Как же добиться того, чтобы телевизионный сигнал отображал яркость любого участка изображения? Эта задача во всех телевизионных системах решается путем развертки изображения. Развертка передаваемого изображения практически сводится к тому, что некоторое «анализирующее» устройство, находящееся внутри передающей трубки, поочередно, по определенному закону как бы «осматривает» отдельные участки светочувствительной поверхности.

«Осмотр» светочувствительной поверхности обычно производится по строкам, расположенным параллельно. Совокупность строк в пределах всей светочувствительной поверхности образует один кадр телевизионного изображения.

На светочувствительную поверхность передающей трубки при-

ходят световые потоки, пропорциональные значениям яркости отдельных участков передаваемого изображения (рис. 1,*а*). При этом чем больше поток электронов, вылетающих под воздействием света из данного участка светочувствительной поверхности, тем больше мгновенное значение сигнала на выходе передающей трубки. Так, для участка с яркостью фона $B_ф$ уровень сигнала будет $u_ф$, для B_1—u_1, для B_2—u_2 и т. д. (рис. 1,*б*).

За время развертки строки будет сформирован видеосигнал изображения, который имеет следующие характерные особенности:



1) уровень сигнала в любой момент времени соответствует яркости изображения на том участке, который в это время «осматривается» анализирующим устройством;

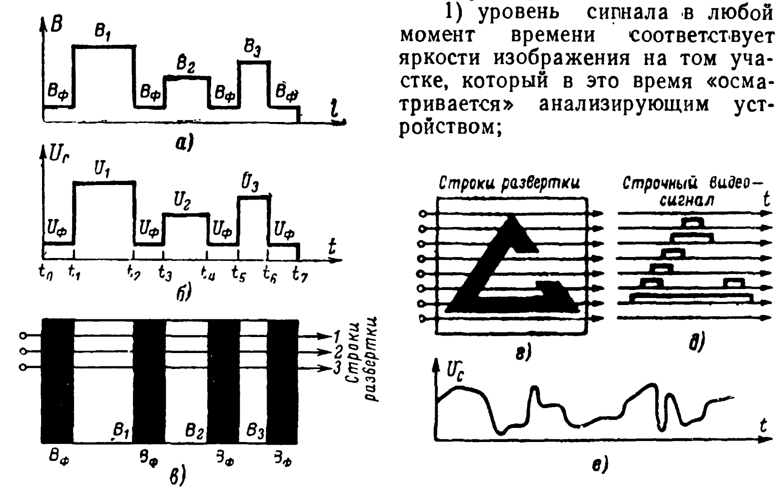


Рис. 1.

2) на границах между участками с различной яркостью (т. е. на контурах изображения) происходят скачки уровня сигнала.

После того как осмотр данной строки изображения будет закончен, происходит обратный ход развертки, когда осуществляется весьма быстрый переход к началу следующей строки. Сигнал изображения в это время не образуется.

Если изображение имеет вид, показанный на рис. 1,*в*, то сигнал изображения будет совершенно одинаков при развертке по любой строке — от первой до последней. В других случаях (например, для изображения, показанного на рис. 1,*г*) форма сигнала для различных строк будет различной (рис. 1,*д*). Но и в этом случае границам (контурам) изображения, разделяющим участки с различной яркостью, соответствуют скачки сигналов, а на участках с постоянной яркостью уровень сигнала остается постоянным.

Заметим еще, что длительность импульсов видеосигнала при постоянной скорости развертки строго соответствует ширине вертикальных участков изображения. Чем мельче деталь передаваемого изображения, тем более короткий импульс сигнала ей соответствует.

В общем случае сигнал изображения может иметь вид, подобный показанному на рис. 1,*д* и состоит из пологих участков и скачков.

Итак, телевизионный сигнал, получаемый от передающей трубки за время одного кадра развертки, включает в себя сведения (инфор-

мацию) о распределении яркости в любом участке передаваемого изображения, а скачки уровня сигнала соответствуют контурам изображения.

Уровень сигнала на выходе передающей трубки невелик — он составляет несколько единиц или десятков милливольт. Поэтому здесь же, в телекамере, ставят усилитель, который называется *предварительным видеоусилителем.* Необходимость этого блока объясняется тем, что в подавляющем большинстве случаев телекамера соединяется с другим оборудованием телецентра длинными кабельными линиями. Если не усилить слабый сигнал прямо в камере, то он может просто «потеряться» в кабеле. Затем следует *основной видеоусилитель*, который на большом телецентре занимает несколько шкафов.

Чем же объяснить такую «солидность» основного видеоусилителя? Дело в том, что этот блок содержит большое количество аппаратуры, позволяющей получать наилучшее качество видеосигнала. Кроме того, здесь же в состав телевизионного сигнала вводится ряд дополнительных составляющих, которые обязательно нужно передать вместе с сигналом изображения.

К числу этих составляющих прежде всего относятся строчные и кадровые синхронизирующие и гасящие импульсы.

Строчные и кадровые синхроимпульсы нужны для того, чтобы развертка изображения на экране кинескопа в телевизоре была бы точной копией развертки в передающей трубке. Гасящие импульсы запирают кинескоп на время обратного хода развертки, когда сигнал изображения не передается (наличие светлых линий — следов обратного хода на экране кинескопа — мешало бы наблюдению).

Синхронизирующие и гасящие импульсы сами по себе не имеют прямого отношения к видеосигналу изображения Они не изменяются при изменении содержания передаваемого изображения. Но после основного видеоусилителя они оказываются настолько тесно «спаянными» с видеосигналом изображения, что приемнику приходится достаточно много «похлопотать», чтобы разделить их потом по разным цепям.

Соединение сигнала изображения, синхронизирующих и гасящих импульсов в один общий сигнал (его называют полным телевизионным сигналом) позволяет передать все эти сигналы по одной и той же радиолинии.

Синхронизирующие и гасящие импульсы передаются во время обратного хода развертки, когда сигнал изображения вообще не образуется. Поэтому их передача не может привести к появлению каких-либо помех на изображении.

Самая простая форма полного телевизионного сигнала показана на рис. 2,*а*. Из рисунка видно, что синхронизирующие и гасящие импульсы отличаются от видеосигнала изображения не только по временному расположению, но и по амплитудным уровням. Это делается для того, чтобы можно было отделить синхроимпульсы от сигнала изображения на приемной стороне.

Наиболее высоким является уровень синхроимпульсов, ниже его располагается уровень гасящих импульсов. Что же касается сигнала изображения, то он обычно передается в так называемый *«негативной полярности»*, когда самому яркому участку изображения соответствует наименьший уровень сигнала, а самому темному участку — наивысший уровень сигнала. Эти уровни называются соответственно «уровнем белого» и «уровнем черного».

Практика телевизионного вещания показала, что передача сигнала изображения в негативе может рассматриваться как один из способов защиты изображения от помех. Чем сильнее импульс помехи, тем выше его амплитудный уровень и, следовательно, тем более темный штрих появится на изображении при действии помехи. А темные штрихи помех мешают наблюдению меньше, чем яркие и светлые.

Может возникнуть вопрос, почему мы видим изображение «в позитиве», если сигнал передается «в негативе»? На этот вопрос

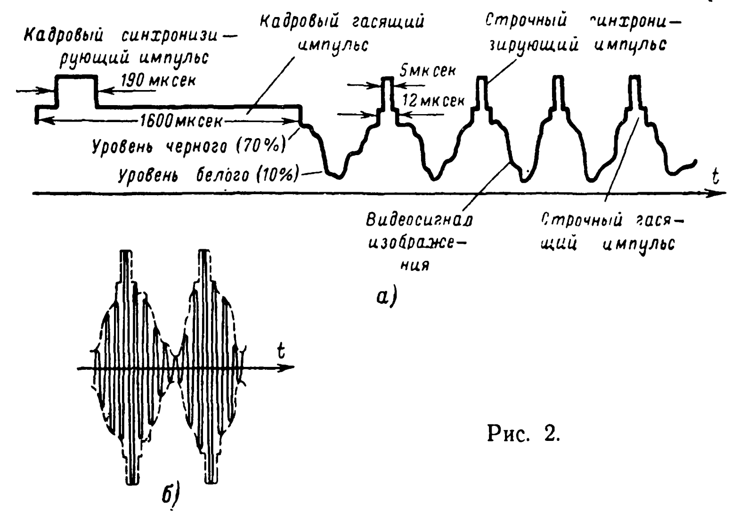


Рис. 2.

ответим немного позже, когда перейдем к рассмотрению приемного устройства.

Полный телевизионный сигнал, получаемый на телецентре, на самом деле имеет более сложную форму, чем на рис. 2,*а*, так как для улучшения качества изображения на экране телевизора приходится проявлять немало забот о синхронизирующем сигнале. Сигнал изображения, по сути дела, остается одним и тем же, а все усложнения получаются за счет синхронизирующих импульсов.

Телевизионный сигнал на пути к кинескопу

После того как полный телевизионный видеосигнал сформирован, он подается на модуляторное устройство радиопередатчика, где происходит его дальнейшее усиление.

В подавляющем большинстве случаев полный телевизионный видеосигнал модулирует высокочастотный сигнал радиопередатчика по амплитуде. Поэтому при подаче на модулятор видеосигнала, показанного, например, на рис 2,*а*, в антенну поступает модулированный высокочастотный сигнал (рис. 2,*б*), огибающая которого соответствует рис. 2,*а*. Антенна излучает этот сигнал в пространство. Телевизионные радиопередатчики обычно работают в диапазоне ультракоротких волн.

Телевизионная передача идет со звуковым сопровождением. Для передачи звукового сопровождения на телецентре имеется еще одна

радиостанция, работающая на своей несущей частоте и имеющая собственную антенну. Однако строго соблюдается одно условие: несущая частота передатчика звукового сопровождения выбирается очень близкой к несущей частоте, на которой передается телевизионный сигнал. Это делается для того, чтобы оба сигнала можно было принять одним приемником. На телецентре добиваются высокой стабильности частот обоих передатчиков — телевизионного передатчика и передатчика сигналов звукового сопровождения.

Теперь мы можем перейти к рассмотрению тех превращений, которые происходят с телевизионным сигналом в телевизоре.

В приемной антенне при приходе сигнала от телецентра наводится электродвижущая сила Высокочастотное напряжение на входе приемника весьма незначительно (оно не превосходит нескольких десятков микровольт). Но важно то, что его огибающая повторяет по форме видеосигнал, полученный на телецентре.

Телевизионные приемники обычно выполняются по супергетеродинной схеме. Сигнал сначала усиливается на высокой частоте, затем на промежуточной и, наконец, детектируется. На выходе детектора получается полный телевизионный видеосигнал, подобный тому, который был выработан основным видеоусилителем телецентра. После дополнительного усиления происходит ряд превращений этого сигнала.

Прежде всего полный телевизионный сигнал подается на кинескоп для формирования светового изображения на его экране. Кроме того, из состава сигнала выделяются строчные и кадровые синхроимпульсы, которые используются для того, чтобы обеспечить точное совпадение разверток изображения в передающей трубке и в кинескопе.

Выделение синхроимпульсов из состава полного телевизионного сигнала осуществляется с помощью амплитудного ограничителя, который «срезает» гасящие импульсы и сигнал изображения, уровень которых ниже уровня синхроимпульсов. Разделение строчных и кадровых синхроимпульсов по отдельным цепям оказывается возможным потому, что длительности этих импульсов сильно различаются (на практике кадровые синхроимпульсы имеют длительность около 200 *мксек*, а строчные — 5 *мксек*).

Строчные и кадровые синхроимпульсы управляют работой генераторов строчной и кадровой разверток, под воздействием которых электронный луч кинескопа развертывается по строкам и по кадру в такт с разверткой изображения в передающей трубке.

В цепь модулятора кинескопа вводится полный телевизионный видеосигнал. Одной из важных характеристик кинескопа является так называемая «модуляционная характеристика», которая показывает зависимость яркости свечения экрана B от напряжения u между катодом и модулятором трубки * (рис. 3).

Телевизионный сигнал вводится в цепь модулятора в такой полярности и имеет такую величину, что гасящие и синхронизирующие импульсы создают напряжение, полностью запирающее кинескоп (заметим, что это происходит во время обратного хода развертки). Уровню черного соответствует минимальная яркость экрана, а уровню белого — максимальная яркость. Путем надлежащего выбора полярности сигнала в цепи модулятора кинескопа можно до-

* При изменении этого напряжения изменяется интенсивность электронного луча, бомбардирующего экран, в результате чего изменяется и яркость свечения экрана.

биться того, чтобы изображение было правильным, т. е. позитивным как при позитивном, так и при негативном сигнале изображения.

При развертке изображения отдельные точки экрана кинескопа приобретают яркость определяемую текущим значением видеосигнала. За время развертки одного кадра изображения на экране кинескопа воспроизводится световое изображение всей сцены, передаваемой с телецентра.

Надо сказать, что современные кинескопы, используемые в вещательных телевизорах, имеют очень малую длительность послесвечения экрана. Если кадр изображения лишь однократно прочертить на экране кинескопа, то световое раздражение глаза будет столь кратковременно, что мы это изображение просто не успеем рассмотреть. Надо с определенной частотой повторять кадры изображения. Здесь помогает то обстоятельство, что глаз обладает свойством инерции: полученное зрительное впечатление удерживается в течение примерно $^{1}/_{10}$ *сек.*

Практически частота повторения кадров в телевидении составляет 25—30 кадров в секунду *. Этого оказывается достаточно для того, чтобы наблюдатель видел немелькающим изображение, состоящее из периодически повторяющихся отдельных кадров. Кроме того, при такой частоте повторения кадров достигается слитное воспроизведение изображения движущихся объектов.

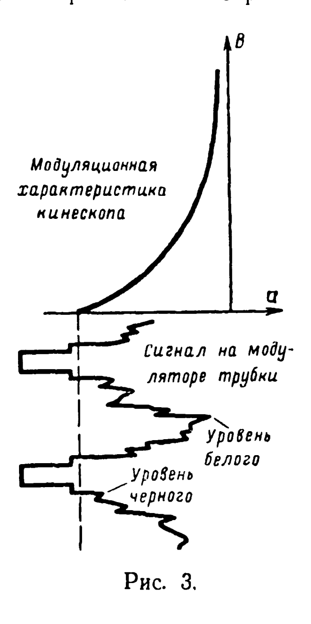


Рис. 3.

Пока что мы ничего не говорили о том, как проходит по цепям телевизионного приемника сигнал звукового сопровождения Поскольку в брошюре речь будет идти главным образом о сигнале изображения, то условимся, что ко всем вопросам, относящимся к передаче звукового сопровождения (а также и синхроимпульсов), мы будем обращаться только в тех случаях, когда это связано с теми или иными особенностями передачи сигнала изображения.

Изображение на экране кинескопа

Телевизионный сигнал в конечном счете превращается в телевизионное изображение. Поэтому для того, чтобы правильно определить требования к телевизионному сигналу и к условиям его передачи, надо знать свойства и основные характеристики телевизионного изображения.

Изображение любого объекта на экране кинескопа отличается от исходного прежде всего тем, что оно не является сплошным (непрерывным), а состоит из некоторого количества параллельных

* При этом используется так называемая чересстрочная развертка, речь о которой будет идти ниже.

отрезков (штрихов), расположенных на соседних строках телевизионного кадра (рис. 4,*а*). Можно даже подсчитать, сколько телевизионных строк участвует в формировании изображения данного объекта (например: 7 строк для буквы *А*, 5 строк для буквы *Б* и т. д.). Если общее число строк в телевизионном кадре равно, например, 600, то, каков бы ни был передаваемый объект, его изображение в направлении кадра (по вертикали) может состоять не более чем из 600 отдельных элементов.

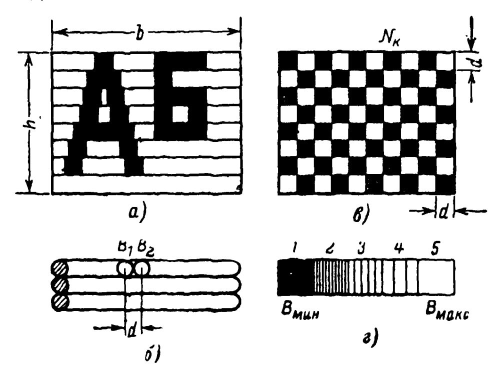


Рис. 4.

А как же быть с формированием изображения в строчном направлении (по горизонтали)?

На первый взгляд кажется, что в строчном направлении изображение нельзя разделить на какие-то отдельные элементы, поскольку развертка вдоль строки идет непрерывно. Однако дело обстоит несколько иначе Надо принять во внимание, что световое пятно, которое прочерчивает строки на экране кинескопа, имеет определенную толщину (если остановить развертку, то на экране появится светлое пятно круглой формы, диаметр которого приблизительно равен толщине строки).

Допустим, что телевизионный видеосигнал имеет вид очень короткого импульса. Если такой импульс подать на модулятор кинескопа, то на экране появится световое пятно, диаметр которого не может быть меньше толщины строки. Яркость пятна B_1 будет определяться амплитудой импульса.

Предположим теперь, что нам рядом с этим пятном нужно поместить другое, яркость которого имеет значение B_2, никак не связанное с яркостью первого пятна (рис. 4,*б*). Очевидно, что второе пятно должно быть отодвинуто от первого на расстояние, не меньшее чем диаметр пятна *d*. Второе пятно может создаваться коротким видеоимпульсом с любой произвольной амплитудой, который следует подать вслед за первым импульсом через интервал времени *t*, необходимый для прохождения разверткой расстояния *d*, т. е.

$$t = \frac{d}{v_c},$$

где v_c — скорость развертки вдоль строки.

Если второй импульс подать раньше, то новое световое пятно перекроется с первым и яркости обоих пятен нельзя будет считать независимыми.

Если длина строки изображения на экране кинескопа равна b, то максимальное число независимых элементов изображения N_c, размещающихся вдоль строки, составляет:

$$N_c = \frac{b}{d},$$

т. е. равно числу диаметров светового пятна, укладывающихся на отрезке b.

Значит, действительно, считать изображение вдоль строки непрерывным не совсем правильно — точнее, будет сказать, что это изображение состоит из N_c независимых элементов.

Теперь мы можем подсчитать общее максимальное количество элементов изображения $N_к$ с независимыми значениями яркости, которое может быть расположено в пределах кадра изображения. Оно равно:

$$N_к = ZN_c = \frac{b}{d} Z,$$

где Z — число строк в кадре.

Полезно провести некоторые преобразования этой формулы. Положим, что отдельные строки изображения тесно примыкают друг к другу (рис. 4,*а*). Если высота кадра изображения равна h, то при числе строк Z толщина светового пятна d будет равна:

$$d = \frac{h}{Z}.$$

Значит, можно записать: $N_к = \frac{b}{h} Z^2$. Отношение ширины кадра b к высоте кадра h носит название **коэффициента формы кадра** $k_ф$:

$$k_ф = \frac{b}{h}.$$

В вещательном телевидении обычно принимают $k_ф = 4/3$

Запишем окончательное выражение для максимального возможного числа элементов в кадре $N_к$, имеющих независимые значения яркости:

$$N_к = k_ф Z^2$$

Примером изображения, содержащего $N_к$ независимых элементов, может служить изображение, показанное на рис 4,*в*. Оно имеет вид «шахматной доски», у которой высота и ширина каждой клетки равны толщине строки d. Для простоты считают, что черные и белые клетки непрерывно чередуются и являются квадратными. Такое изображение можно назвать «самым сложным» изображением, поскольку оно содержит максимально возможное количество независимых элементов.

Во время телевизионной передачи мы всегда хотим видеть как можно больше подробностей, мелких деталей изображения. Эти

«мелкие детали» иногда имеют весьма крупное значение — например, маленькая шайба при передаче хоккейного матча! Чем больше мелких деталей изображения мы видим, тем выше его четкость, художественность. Максимально возможное число элементов с независимыми значениями яркости является в известном смысле мерой четкости телевизионного изображения.

На какое же количество элементов необходимо разложить телевизионное изображение, чтобы четкость его была достаточной при передаче большого количества различных сюжетов, которые могут встретиться на практике?

В существующих телевизионных вещательных системах число строк в кадре, выбираемое с учетом многолетнего опыта, находится примерно в пределах 400—800, а коэффициент формы кадра обычно равен $^4/_3$. Значит в среднем число элементов, составляющих кадр телевизионного изображения $N_к$, равно:

$$N_к = \frac{4}{3}(400 \div 800)^2 = 200 \div 850 \text{ тыс. элементов.}$$

Для системы телевизионного вещания СССР число строк в кадре выбрано равным 625 и поэтому $N_к \approx 500\,000$ элементов.

Пока что мы говорили о таком телевизионном изображении, которое состоит только из черных и белых элементов без каких-либо промежуточных градаций (переходов) яркости. На самом деле яркость отдельных участков изображения может плавно изменяться от некоторой минимальной величины $B_{мин}$ до максимальной величины $B_{макс}$. Величина $B_{мин}$ соответствует уровню черного в сигнале изображения, а величина $B_{макс}$ — уровню белого.

Теперь посмотрим, каковы условия наблюдения объектов различной яркости.

Допустим, что изображение состоит из ряда квадратов (рис. 4,*г*). Яркость квадрата *1* будем считать минимальной ($B_{мин}$) *. Предположим также, что сначала яркости всех квадратов одинаковы и равны $B_{мин}$. Начнем плавно увеличивать яркость квадрата *2*. Оказывается, что пока яркости квадратов *1* и *2* отличаются на малую величину, мы не можем различить эти квадраты в отдельности и только после достижения некоторого значения разности яркостей квадрат *2* окажется различимым отдельно. Это объясняется тем, что глаз имеет некоторый «порог» чувствительности к разности яркостей соседних объектов.

Разность яркостей соседних объектов $B_2—B_1$, отнесенная к большей яркости (т. е. к B_2), носит название **контраста**.

Контраст обозначается буквой K и измеряется обычно в процентах:

$$K = \frac{B_2 - B_1}{B_2}$$

Так, например, если $B_2=2B_1$, то $K=50\%$.

Порог контрастной чувствительности глаза $K_{пор}$ составляет примерно 5%. Это означает, что глаз различает два рядом расположенных объекта, если контраст между ними больше 5%. Итак,

---

* На рис. 4,*г* и последующих чертежах увеличению яркости условно соответствует уменьшение плотности вертикальной штриховки.

условие различения двух объектов с различными яркостями B_1 и B_2 имеет вид:

$$K=\frac{B_2-B_1}{B_2}\geqslant K_{\text{пор}}.$$

Отсюда следует, что яркость второго квадрата 2 должна быть равна:

$$B_2=B_1+B_1K_{\text{пор}}=(1+K_{\text{пор}})B_1,$$

для того чтобы этот квадрат можно было различить на фоне квадрата с яркостью B_1.

Аналогично для различения третьего квадрата на фоне второго должно выполняться условие:

$$B_3=B_2+B_2K_{\text{пор}}=(1+K_{\text{пор}})^2B_1$$

и т. д.

Величины B_1, B_2, B_3 в данном случае называются г р а д а ц и я м и я р к о с т и. Каждая очередная градация яркости больше предыдущей настолько, что контраст соседних квадратов равен пороговому.

Если минимальная яркость изображения равна $B_{\text{мин}}$, а максимальная $B_{\text{макс}}$, то, как показывают расчеты, число различимых градаций яркости m будет равно:

$$m\approx\frac{2,3}{K_{\text{пор}}}\lg\frac{B_{\text{макс}}}{B_{\text{мин}}}.$$

Так, например, если $K_{\text{пор}}=5\%$, а $B_{\text{макс}}/B_{\text{мин}}=10/1$, то $m=46$, т. е. глаз может различить на изображении не менее 46 градаций яркости (оттенков).

С увеличением количества различимых градаций яркости возрастает естественность (художественность) изображения. Практически требуется, чтобы число различимых градаций яркости составляло примерно 10—30. В зависимости от сюжета изображения эта величина может иметь довольно значительные колебания.

Выше мы упомянули о том, что кадры телевизионного изображения необходимо периодически повторять с такой частотой, чтобы мелькания изображения отсутствовали и воспроизводился эффект движения объектов.

В некоторых наиболее простых телевизионных системах находит применение построчная развертка, когда все Z строк развертываются одна за другой в течение кадра (рис 5,*а*). Как показывает опыт, при такой развертке частота повторения кадров (критическая частота мельканий) должна быть не менее 50—60 *гц* при нормальных значениях яркости изображения на экране кинескопа.

Во всех вещательных телевизионных системах используется так называемая ч е р е с с т р о ч н а я р а з в е р т к а, которая позволяет уменьшить необходимую частоту повторения кадров вдвое (т е. довести ее до 25—30 *гц*).

При чересстрочной развертке кадр изображения передается в два приема (рис. 5,*б*). Сначала передаются только нечетные строки, образующие первое п о л е и з о б р а ж е н и я, а затем — четные строки, образующие второе поле. Общее число строк в кадре берется нечетным. В первом поле изображения обязательно передается

половина последней нечетной строки. Другая половина этой строки передается в начале развертки второго поля. Это делается для того, чтобы последующие четные строки не накладывались на нечетные строки предыдущего поля изображения, а располагались в промежутках между ними Общее число строк, которое увидит наблюдатель, будет равно сумме строк первого и второго полей (за счет инерции зрения наблюдатель видит одновременно строки соседних полей).

Таким образом, общая структура телевизионного изображения при чересстрочной развертке остается такой же, как и при построчной развертке. В то же время оказывается, что при чересстрочной развертке число кадров в секунду может быть уменьшено вдвое по сравнению с построчной разверткой *.

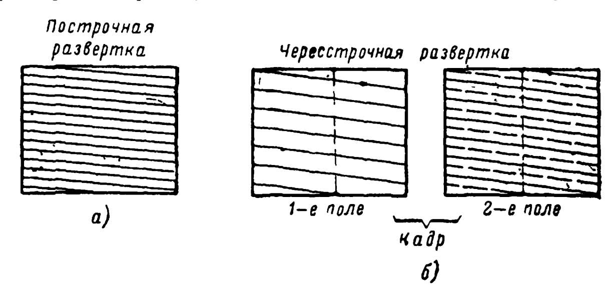


Рис. 5.

Это объясняется тем, что передаче каждого поля при чересстрочной развертке соответствует появление отдельного кратковременного изображения на экране кинескопа. Значит, за время кадра появятся два отдельных изображения, а не одно, как при построчной развертке Поэтому число полных кадров в секунду при чересстрочной развертке действительно может быть уменьшено вдвое по сравнению с построчной разверткой. Мелькания изображения не увеличатся, поскольку общее число появляющихся в секунду отдельных кратковременных изображений не изменится.

В системе телевизионного вещания СССР частота кадров при чересстрочной развертке составляет 25 *гц*. Поля изображения, содержащие половинное число строк, передаются с частотой 50 *гц*. Каждому полю изображения соответствует свой «полукадровый» синхронизирующий импульс, который имеет более сложную форму, чем импульс, показанный на рис. 2,*а*. Однако длительности полукадрового синхронизирующего и гасящего импульсов остаются такими же, как указано на рисунке.

Изображение на экране кинескопа должно обладать определенной яркостью и контрастностью. Понятия **яркость** и **контрастность** имеют разный смысл.

Допустим, что на модулятор кинескопа подан телевизионный видеосигнал, размах которого (от уровня белого до уровня черного) равен $U_1 - U_2$ (рис. 6). Яркость изображения, находящаяся в интер-

* Как мы дальше увидим, это позволяет уменьшить вдвое необходимую полосу пропускания электрических цепей, по которым передается телевизионный сигнал.

вале B_1—B_2, будет значительной не только для уровня белого, но и для уровня черного.

Но, несмотря на большую яркость, нельзя признать такое изображение удовлетворительным прежде всего потому, что интервал между белым и черным очень мал. Другими словами, низка контрастность изображения, определяемая относительным значением разности между яркостью самого светлого и самого темного участков изображения. Точно так же неудовлетворительным будет изображение, у которого уровни белого и черного определяются размахом сигнала U'_1—U'_2.

Надо постараться «развести» уровни белого и черного подальше один от другого, тогда контрастность изображения увеличится. А для этого нужно увеличить размах сигнала, доведя его, например, до величины U''_1—U''_2. При этом уровню черного соответствует малая яркость B''_2, а уровню белого — большая яркость B''_1. Изображение становится контрастным, на нем различается большое число градаций яркости.

Рис. 6.

Что касается уровня черного, то на первый взгляд кажется что самому «черному» на изображении просто должно соответствовать запирание луча кинескопа. Однако оказывается, что в зависимости от освещения в комнате и характера передаваемого изображения часто требуется изменять уровень черного. Точно так же требуется регулировать и контрастность изображения. Поэтому в телевизорах предусматривается возможность регулировки как уровня черного, так и контрастности изображения. Практически регулировка уровня черного осуществляется изменением начального смещения на модуляторе трубки, а регулировка контрастности — изменением размаха видеосигнала, поступающего с видеоусилителя. При этом нельзя допускать, чтобы минимальный уровень видеосигнала изображения достигал величины, соответствующей запиранию кинескопа, иначе будет потеряна часть градаций яркости и изображение окажется слишком темным. Точно так же запрещен вход в область положительных напряжений на модуляторе: при этом появится сеточный ток, сигнал будет ограничиваться сверху. Уменьшится число градаций яркости, изображение будет слишком светлым. Надо также обращать внимание на то, чтобы при любом размахе видеосигнала гасящие импульсы полностью запирали кинескоп.

Максимальный размах видеосигнала (от уровня черного до уровня белого) определяется типом выбранного кинескопа. В первую очередь здесь имеет значение величина рабочего участка модуляционной характеристики кинескопа. Для современных кинескопов максимальный размах сигнала на модуляторе может достигать 40—60 *в* При этом отношение $B_{макс}/B_{мин}$ составляет не менее 30, что позволяет получить достаточно контрастное изображение. Яркость самого светлого места изображения достигает 30—50 *нт*, а уровню черного соответствует яркость 2—3 *нт*.

Цифры, характеризующие телевизионный сигнал

Ознакомившись с основными свойствами и характеристиками телевизионного изображения, перейдем теперь к более детальному изучению телевизионного сигнала.

Прежде всего вспомним о связи между формой телевизионного видеосигнала и характером передаваемого изображения:

форма телевизионного сигнала изображения однозначно определяется распределением яркостей и положением контуров передаваемого изображения;

пологие участки сигнала изображения соответствуют плавным изменениям яркости участков изображения;

скачки телевизионного сигнала соответствуют контурам (границам) объектов на изображении.

Кроме того, следует отметить, что с повышением четкости изображения в составе сигнала появляются все более короткие импульсы, соответствующие развертке элементов изображения с уменьшающимися размерами.

Проследим связь между характеристиками изображения и сигнала на примере телевизионного стандарта, принятого в СССР. В нашем стандарте:

число строк в кадре $Z=625$ (выбрано из условия получения высокой четкости изображения);

формат кадра $k_{ф}={}^4/_3$ (выбран как наиболее естественный для наблюдения изображения);

развертка чересстрочная (для уменьшения числа кадров в секунду);

частота кадров $f_к=25$ *гц* (выбрана из условия устранения мельканий изображения и передачи эффекта движения объектов);

частота полукадров (полей) равна 50 *гц*.

На основании приведенных данных укажем временные соотношения, характеризующие телевизионный сигнал.

Полное время передачи кадра (с учетом обратного хода) будет равно:

$$T_к = \frac{1}{f_к} = \frac{1}{25}\ сек = 40\,000\ мксек$$

Частота повторения строк $f_с$ составляет:

$$f_с = Zf_к = 625 \cdot 25 = 15\,625\ гц.$$

Полное время передачи строки изображения $T_с$ (с учетом обратного хода) равно:

$$T_с = \frac{1}{f_с} = \frac{1}{15\,625}\ сек = 64\ мксек.$$

Часть времени передачи кадра (или строки) расходуется на обратный ход кадровой (или строчной) развертки. Обратный ход полукадровой развертки, т. е. развертки одного поля изображения, в типовых телевизорах занимает около 1 600 *мксек*. Поэтому и длительность полукадрового гасящего импульса составляет 1 600 *мксек* (рис. 2,*а*) Полукадровый синхронизирующий импульс имеет длительность 190 *мксек*.

Обратный ход строчной развертки и длительность строчного гасящего импульса составляют 12 *мксек*. Строчный синхронизирующий импульс имеет длительность 5 *мксек*.

Если учесть, что вдоль строки изображения при $Z=625$ и $k_ф={}^4/_3$ размещается $N_с=k_фZ=\frac{4}{3}625\approx830$ элементов изображения, то можно определить длительность $\tau_и$ самого короткого импульса, который может встретиться в сигнале изображения. Она будет равна:

$$\tau_и=\frac{T_с}{N_с}=64\ мксек:830=0{,}08\ мксек.$$

Практически такой импульс может образоваться, например, в том случае, когда на черном фоне имеется тонкая вертикальная полоса шириной в один элемент изображения.

Основные временные соотношения, характеризующие телевизионный сигнал, показаны на рис. 2,*а*. Интересно отметить, что длительность обратного хода по кадру занимает большое количество интервалов строчной развертки:

$$\frac{1\,600}{64}=25\ строк.$$

За время этих 25 строк сигнал изображения не образуется, и эти строки оказываются потерянными для изображения. Однако обратный ход развертки по кадру совершенно необходим и поэтому приходится мириться с потерей части строк (при чересстрочной развертке в каждом полукадре теряется по 25 строк; всего за кадр теряется 50 строк).

Что касается амплитудных соотношений в сигнале, то они также обычно стандартизируются. Если уровень синхроимпульсов принять за 100%, то уровень гасящих импульсов составляет 75%, уровень черного — 70%, а уровень белого — порядка 10%.

Если минимальная длительность импульса, который встречается в телевизионном сигнале, непосредственно связана с возможной четкостью изображения, то амплитудные соотношения, характеризующие телевизионный сигнал на входе кинескопа, определяют яркость, контраст изображения и число воспроизводимых градаций яркости.

ГЛАВА ВТОРАЯ

СПЕКТР ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВИДЕОСИГНАЛА

Что такое «спектр сигнала»

Телевизионный сигнал имеет сложную форму. Чтобы определить условия неискаженной передачи электрических сигналов сложной формы, часто пользуются понятием так называемого спектра сигнала. Оказывается, что, пользуясь определенными правилами, любой сложный электрический сигнал, в том числе и телевизионный, можно представить в виде некоторой суммы гармонических (синусоидальных) колебаний различных частот. Сигналы этих частот составляют спектр сигнала.

Так, например, сложный сигнал, показанный на рис 7,*а*, можно разложить на гармонические составляющие с частотами f_1 и f_2. Суммируя мгновенные значения этих гармонических сигналов, мы получим исходный сложный сигнал, что нетрудно проверить графическим построением.

Спектр сложного сигнала условно изображается в виде графика (рис. 7,*г*): по оси абсцисс откладываются значения частот гармонических составляющих спектра, а по оси ординат — амплитуды этих составляющих.

Наличие тех или иных составляющих спектра можно проверить опытным путем. Если сложный сигнал, показанный на рис. 7,*а*, пропустить через узкополосный фильтр, настроенный на частоту f_1 (или f_2), то на выходе его действительно появится гармонический сигнал с частотой f_1 (или f_2), «выбранный» фильтром из состава спектра сложного сигнала. Если же настроить фильтр на какую-либо частоту f_3, не входящую в состав спектра сигнала, то никакого сигнала на выходе фильтра не будет.

Если изменить частоты или амплитуды гармонических составляющих спектра, то в результате суммирования получится сложный сигнал какой-то другой формы.

При этом следует заметить, что пропорциональное изменение амплитуд всех составляющих не приводит к искажению сигнала; происходит лишь его усиление или ослабление. Если же амплитуды отдельных составляющих изменяются непропорционально, то сигнал искажается.

Из сказанного следует и обратный вывод: для неискаженной передачи сигнала сложной формы необходимо, чтобы все составляющие его спектра сохраняли значения своих частот. Амплитуды их могут увеличиваться или уменьшаться пропорционально.

Здесь следует отметить еще одно существенное обстоятельство. Допустим, что какая-либо из составляющих спектра имеет малую амплитуду, так что влияние этой составляющей на форму сигнала не очень велико. Если отбросить эту составляющую, то сигнал, конеч-

но, будет искажен, но эти искажения не слишком изменят форму сигнала.

В радиотехнике часто пользуются этим. В большинстве случаев амплитуды отдельных составляющих спектра сложного сигнала уменьшаются по мере роста их частоты. Это дает возможность ограничиться передачей лишь наиболее важных составляющих спектра, т. е. ограничить спектр со стороны высших частот.

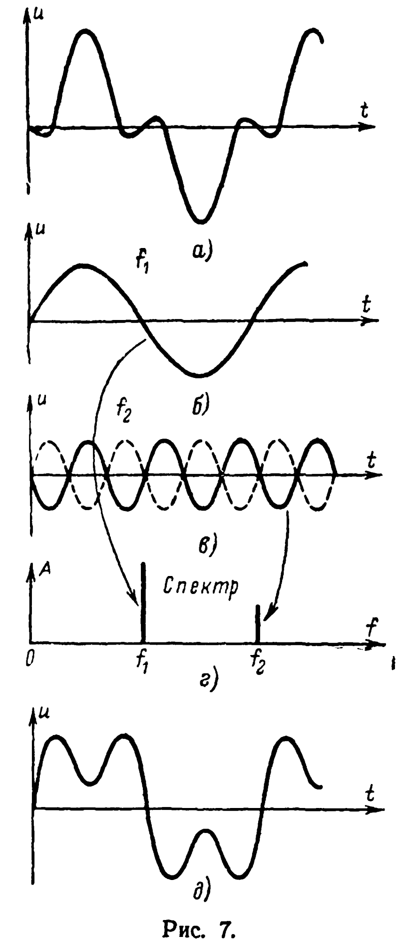


Рис. 7.

Гармонические (синусоидальные) колебания характеризуются не только частотой и амплитудой, но и фазой, отсчитываемой от некоторого начального момента времени. Полному периоду колебаний соответствует изменение фазы сигнала на 360°. На рис. 8 показаны три сигнала, у которых частоты и амплитуды одинаковы, а фазы соответственно равны 0, 90 и 270°.

Посмотрим теперь, не будет ли искажаться форма сигнала, если изменить фазы отдельных составляющих.

Чтобы ответить на этот вопрос, возьмем график, изображенный на рис. 7, и сдвинем по фазе одну из составляющих спектра, например составляющую с частотой f_2 (пунктир на рис. 7,*в*).

Как видно из рис. 7,*д* форма результирующего сигнала при этом существенно изменится. Значит, действительно, фазы колебаний, составляющих спектр, оказывают существенное влияние на форму сигнала.

Если электрическая цепь не изменяет фаз отдельных составляющих спектра, то сигнал проходит через такую цепь без искажений. А если фазы колебаний изменяются? Напрашивается вывод, что при этом сигнал будет искажен. Однако оказывается, что этот вывод не всегда верен.

Пусть, например, имеется сложный сигнал, спектр которого содержит составляющие с частотами f и $2f$. Если период колебаний для сигнала с частотой f равен $T_1 = 1/f$, то для колебаний с частотой $2f$ период будет в 2 раза меньше, т.е. $T_2 = \frac{1}{2f} = \frac{1}{2} T_1$.

Один период колебаний соответствует изменению фазы сигнала на 360°. Поэтому за интервал времени T_1, равный периоду колебаний с частотой f, фаза колебаний с частотой $2f$ изменится на $2\times360°$, т. е. на два полных периода. Взаимное расположение графиков колебаний с частотами f и $2f$ при этом не изменится.

Отсюда следует один важный вывод.

Если сигнал с частотой f сдвинуть по фазе на некоторый угол φ, а сигнал с частотой $2f$ — на угол 2φ, то относительное временное расположение обоих колебаний не изменится. Значит, не изменится и форма результирующего сложного сигнала. Этот вывод можно распространить на сигнал, спектр которого содержит любые составляющие: f_1, f_2, f_3 и т. д.

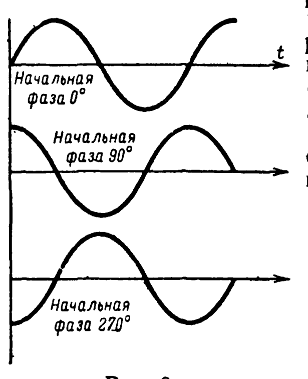


Рис. 8.

Электрическая цепь не искажает форму сложного сигнала, если она сдвигает все составляющие спектра сигнала по фазам на величины, пропорциональные частотам колебаний.

Значит, можно сдвинуть фазу составляющей с частотой f на угол φ, частотой $2f$ — на угол 2φ, частотой $3f$ — на угол 3φ и т. д., а форма результирующего сигнала не изменится.

Правда, вся кривая (осциллограмма) результирующего сигнала при этом сдвинется по оси времени вправо. Это означает, что сигнал, пройдя по электрической цепи, будет иметь некоторое запаздывание.

Время запаздывания сигнала $t_з$ является существенной характеристикой электрической цепи. Если на вход ее подать переменное напряжение с частотой f, то при запаздывании на время $t_з$ фаза выходного сигнала окажется сдвинутой (по отношению к фазе входного сигнала) на величину $\Delta\varphi$, равную:

$$\Delta\varphi = 2\pi f t_з.$$

Если сигнал имеет сложную форму, то для отсутствия фазовых искажений необходима прямая пропорциональность между сдвигом фаз $\Delta\varphi = \varphi_{вых} - \varphi_{вх}$ и частотой колебаний f. А это условие может быть выполнено только в том случае, если время запаздывания сигнала в электрической цепи $t_з$ одинаково для всех частот спектра сигнала.

Когда электрическая цепь не искажает сигнала

На основании сказанного можно определить, каким требованиям должна удовлетворять электрическая цепь для того, чтобы по ней можно было передать без искажений сигнал сложной формы.

Во-первых, в электрической цепи не должно происходить непропорционального изменения амплитуд основных составляющих спектра (при этом под основными составляющими спектра будет подразумевать те из них, которые оказывают наиболее сильное влияние на форму сложного сигнала).

Для того чтобы определить, выполняется ли это условие, надо знать форму амплитудно-частотной (или частот-

ной) характеристики электрической цепи, т. е. зависимость коэффициента усиления цепи от частоты (иногда эту зависимость называют просто частотной характеристикой). Если в пределах ширины спектра частот коэффициент усиления цепи (т. е. отношение выходного напряжения ко входному) одинаково, то искажения амплитуд составляющих спектра сигнала отсутствуют. В других случаях (рис. 9) одни составляющие спектра будут ослабляться по сравнению с другими. За пределами полосы частот спектра сигнала коэффициент усиления электрической цепи можно уменьшить до нуля — это не отразится на форме передаваемого сигнала. Обычно так и делают для того, чтобы посторонние сигналы на других частотах не попадали в цепь. Полосу пропускания Δf электрической цепи

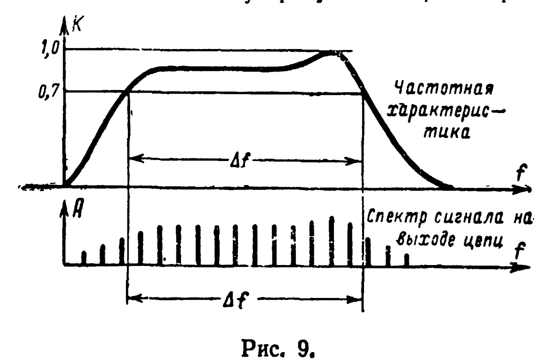


Рис. 9.

определяют как интервал частот, в пределах которого коэффициент усиления уменьшается не более чем до 70% его максимального значения. Ширина полосы пропускания электрической цепи должна быть не меньше, чем ширина спектра частот сигнала, проходящего по этой цепи.

Во-вторых, в электрической цепи надо устранить фазовые искажения сигнала, т. е. такие искажения, которые появляются за счет непропорциональных фазовых сдвигов отдельных составляющих спектра.

Надо, чтобы в пределах полосы частот спектра фазовый сдвиг отдельных составляющих, равный разности фаз на выходе и входе электрической цепи, был пропорционален частотам Δf этих составляющих.

Зависимость фазового сдвига сигнала в электрической цепи от частоты этого сигнала носит название **фазо-частотной (или фазовой) характеристики** электрической цепи. Пропорциональность между величиной фазового сдвига и частотой получается, если фазовая характеристика линейна (рис. 10,*а*). С другой стороны, можно сказать, что фазовые искажения сигнала отсутствуют, если время запаздывания $t_в$ всех составляющих спектра при прохождении их через электрическую цепь одинаково (рис. 10,*а*).

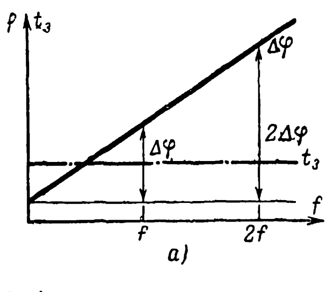
Если время задержки отдельных составляющих спектра неодинаково, то фазовая характеристика нелинейна (рис. 10,*б*).

Интересно отметить, что между формами частотной и фазовой характеристик многих электрических цепей имеется вполне определенная зависимость (рис. 11): плоскому участку частотной харак-

теристики (рис. 11,*а*) соответствует постоянство времени запаздывания (рис. 11,*б*) и линейный участок фазовой характеристики (рис. 11,*в*); резкому спаду частотной характеристики соответствует нелинейный участок фазовой характеристики.

В связи с этим нужно добиваться того, чтобы подъемы и спады частотной характеристики были плавными, если фазовые искажения недопустимы.

Рассмотренные выше условия неискаженной передачи сигнала сложной формы справедливы, если электронные лампы или полупроводниковые приборы, входящие в состав электрической цепи, работают на линейных участках характеристик.



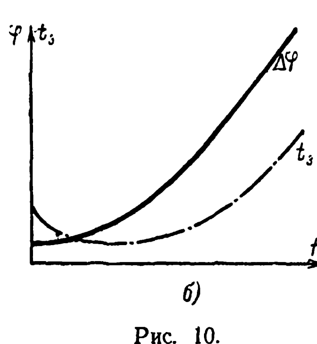


Рис. 10.

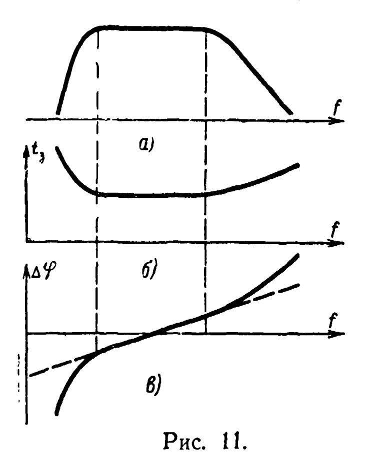


Рис. 11.

Важность этого обстоятельства можно пояснить на примере простого резисторного усилителя (рис. 12,*а*). Если рабочий участок сеточной характеристики анодного тока является линейным (рис. 12,*б*), то сигнал воспроизводится усилителем без искажения формы. Если же лампа работает на нелинейном участке, форма выходного сигнала претерпевает тем большие изменения, чем больше выражена эта нелинейность (рис. 12,*в*).

Но если форма сигнала изменилась, значит произошли какие-то изменения и в спектре сигнала! Это действительно так. При прохождении любого сигнала через нелинейную электрическую цепь спектр его изменяется.

Это можно проследить на следующем примере (рис. 12,*г*).

Подадим на вход резисторного усилителя синусоидальное напряжение с частотой *f*. Исходное смещение U_0 возьмем таким, чтобы лампа работала на нелинейном участке характеристики. Выходной сигнал будет содержать постоянную составляющую и импульсы, повторяющиеся с частотой *f*.

Спектр такого импульсного сигнала, как показывают расчеты, содержит составляющие с частотами *f*, 2*f*, 3*f* ... и т. д. Ничего подоб-

ного не могло быть, если бы усилитель работал на линейном участке характеристики.

Таким образом, при прохождении сигнала через нелинейную цепь могут появиться составляющие, частоты которых отличаются от частот, содержащихся в спектре входного сигнала.

Это свойство нелинейных электрических цепей широко используется в радиотехнике. Модуляция, детектирование, преобразова-

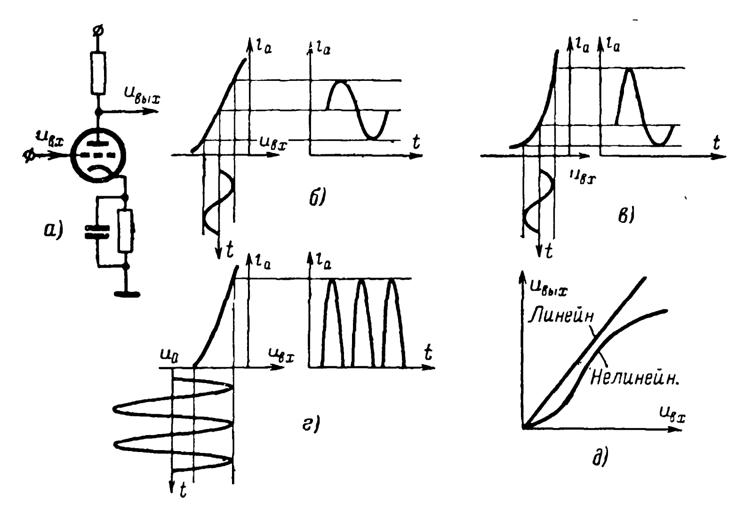


Рис. 12.

ние частоты (в супергетеродинном приемнике), выпрямление переменного тока — все эти процессы основаны на использовании нелинейных цепей.

С другой стороны, если форма сигнала при прохождении через электрическую цепь должна сохраняться неизменной, необходимо, чтобы эта цепь была линейной. Часто говорят, что линейная цепь имеет линейную амплитудную характеристику. При этом под **амплитудной характеристикой** понимают зависимость между амплитудами выходного и входного сигналов (рис. 12,*д*).

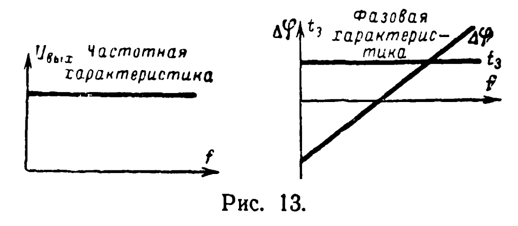


Рис. 13.

Таким образом, можно быть уверенным, что электрическая цепь не искажает формы проходящего по ней сигнала, если выполняются следующие условия:

амплитудная характеристика цепи линейна;

ширина полосы пропускания цепи не меньше ширины спектра частот передаваемого сигнала;

фазовая характеристика цепи в пределах полосы пропускания линейна, а задержка сигнала не зависит от частоты.

Графическое выражение этих условий представлено на рис. 12,*д* и 13.

Пока что мы вели рассуждения относительно произвольного электрического сигнала. Теперь перейдем к вопросу о спектре телевизионного видеосигнала.

Спектр телевизионного видеосигнала

Сначала определим форму спектра телевизионного видеосигнала для случая, когда передается наиболее простое изображение. Такое изображение состоит из черного и белого прямоугольников, каждый из которых занимает половину кадра (рис. 14,*а*). Эти прямоугольники расположены так, что развертка всегда идет только по белому или только по черному полю.

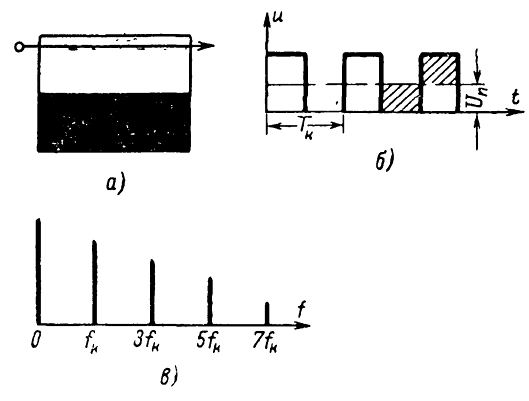


Рис. 14.

Для простоты рассуждений пренебрежем наличием синхроимпульсов и обратных ходов развертки. Будем считать, что развертка построчная.

При этих условиях уровень сигнала в течение первой половины кадра будет поддерживаться на максимальном уровне (когда идет развертка по белому прямоугольнику), а в течение второй половины — на минимальном (при развертке по черному полю). Телевизионный сигнал будет иметь вид прямоугольных П-образных импульсов (рис. 14,*б*). Длительность каждого импульса равна половине периода кадра. Такую же длительность имеет интервал между импульсами. Частота повторения импульсов равна частоте кадров $f_к$.

Спектр такого сигнала, как показывают расчеты, имеет форму, приведенную на рис. 14,*в*. Он содержит гармонические составляющие (гармоники) с частотами $f_к$, $3f_к$, $5f_к$ ... и т. д.*.

---

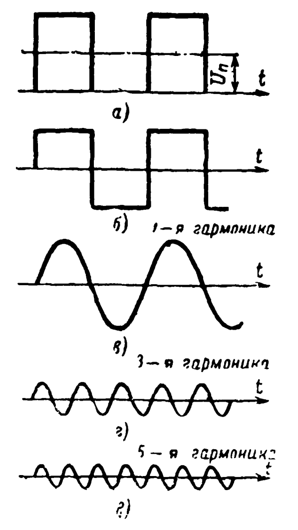
* В спектре других периодических сигналов, кроме нечетных гармоник, могут быть и четные: $2f_к$, $4f_к$ ... и т. д.

Кроме гармонических составляющих, в спектре сигнала присутствует еще так называемая «постоянная составляющая». Для определения ее величины надо провести линию, параллельную оси абсцисс, на такой высоте, чтобы площади, заштрихованные сверху и снизу, были равны (рис. 14,*б*).

Амплитуды гармоник спектра уменьшаются с ростом частоты. В рассматриваемом случае добавление седьмой гармоники уже почти не изменяет форму результирующего сигнала. Если ограничиться передачей постоянной составляющей и первой, второй и пятой гармоник, то результирующий сигнал будет почти таким же, как исходный (рис. 15,*а—е*).

С другой стороны, интересно выяснить, как изменится форма сигнала, если отбросить наиболее низкочастотные составляющие.

На рис. 15, *б* видно, что при



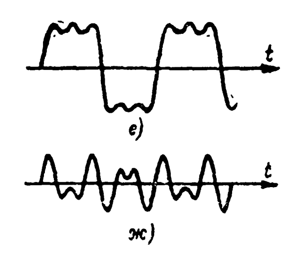


Рис. 15.

устранении постоянной составляющей уменьшается максимальный уровень сигнала. На рис. 15,*ж* показано, как сильно искажается форма результирующего сигнала при устранении первой гармоники спектра.

В заключение следует выяснить, какую роль играют отдельные составляющие спектра в формировании изображения на экране кинескопа. На этот вопрос нетрудно ответить, если учесть, что яркость изображения на экране кинескопа определяется величиной сигнала, подаваемого на модулятор *.

Если передается только первая гармоника, то яркость изображения будет изменяться по синусоидальному закону. При добавлении более высоких гармоник распределение яркости будет все более приближаться к исходному, т. е. к прямоугольному.

Значит, можно сделать вывод, что первая гармоника как бы «задает» общее распределение яркости, а более высокие гармоники его «уточняют».

Рассмотрев спектр сигнала при передаче самого простого изображения, перейдем теперь к более сложным случаям.

Если изображение состоит из четырех горизонтальных полос (рис. 16,*а*), то за период кадра появится два импульса, соответст-

* Считаем, что модуляционная характеристика кинескопа линейна.

вующих белым полосам. Длительность каждого из импульсов равна $T_к/4$, а частота повторения равна удвоенной частоте кадров $2f_к$. Значит, в спектре сигнала будут присутствовать гармоники с частотами $2f_к$, $3\times 2f_к$, $5\times 2f_к$ ... и т. д.

А теперь повернем на 90° то изображение, которое мы назвали «самым простым». Получим изображение из двух вертикальных полос — черной и белой (рис. 16,*б*). Импульсы сигнала будут повторяться с частотой строк $f_{стр}$, а в спектре появятся гармоники с частотами $f_{стр}$, $3f_{стр}$, $5f_{стр}$. При наличии на изображении четырех вертикальных полос (рис. 16,*в*) в спектре будут гармоники с частотами $2f_{стр}$, $3\times 2f_{стр}$, $5\times 2f_{стр}$ ... и т. д.

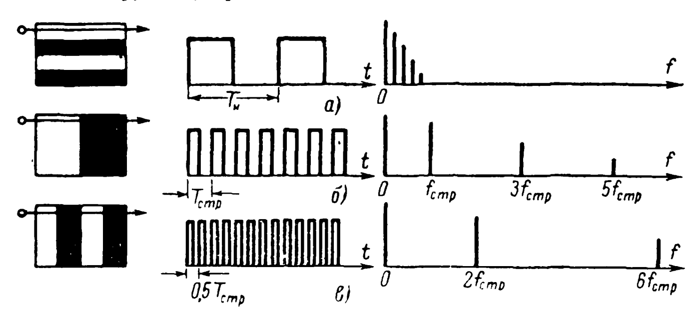


Рис. 16.

При дальнейшем уменьшении ширины вертикальных черных и белых полос частота первой гармоники спектра будет все более увеличиваться, а вслед за ней будут увеличиваться частоты и всех прочих гармоник.

Отсюда можно сделать весьма важный вывод о том, что по мере уменьшения размеров деталей изображения спектр сигнала все более сдвигается в сторону высоких частот. Другими словами, можно сказать, что *низкие частоты спектра телевизионного сигнала характеризуют распределение яркости крупных участков изображения, а высокие частоты несут информацию о деталях изображения и контурах объектов.*

Пока что мы не касались вопроса о том, как влияют на характер передаваемого изображения средние частоты спектра телевизионного сигнала. Оказывается, что если устранить или ослабить средние частоты, то происходит как искажение яркости, так и некоторое уменьшение четкости изображения.

Для того чтобы выяснить роль постоянной составляющей, рассмотрим условия передачи двух изображений *А* и *Б* (рис. 17), имеющих противоположный характер распределения яркости (с преобладанием светлых или темных участков) — это узкая светлая полоса на темном фоне и узкая темная полоса на светлом фоне. На рис. 17,*а*, *б* показаны формы сигналов, получающихся при развертке этих изображений.

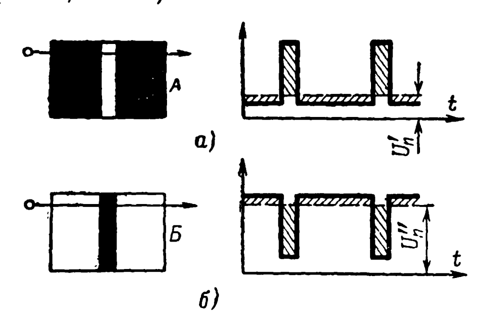
В случае *Б* постоянная составляющая будет значительно больше, чем в случае *А*. Если эти сигналы подать на модулятор кинескопа, устранив постоянную составляющую (например, с помощью переходного конденсатора), то уровни белого и черного на вос-

произведенных изображениях сюжетов *А* и *Б* окажутся различными: уровень белого для изображения *Б* будет примерно таким же, как уровень черного для изображения *А* (рис. 17,*в*).

Следовательно, потеря постоянной составляющей телевизионного сигнала приводит к появлению существенных различий в уровнях яркости белого и черного полей для изображений, отличающихся по среднему уровню яркости (т. е. изображений с преобладанием либо темных, либо ярких участков).

Теперь нам следует выяснить, до какого предела увеличиваются частоты спектра по мере «измельчения» элементов изображения.

Чтобы ответить на этот вопрос, рассмотрим форму спектра сигнала для наиболее сложного изображения, которое, как мы знаем, имеет вид шахматной доски с $N_к$ клетками (рис. 4,*в* и 18).



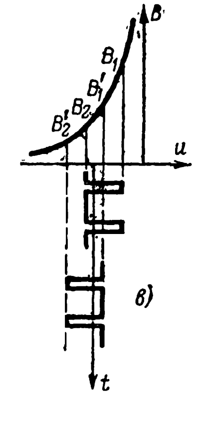


Рис. 17.

Телевизионный сигнал в этом случае имеет вид периодически повторяющихся П-образных импульсов *. Частоту повторения этих импульсов $f_и$ можно найти, если известен период их повторения $T_и$:

$$f_и = \frac{1}{T_и}.$$

Величина $T_и$ равна суммарному времени передачи одного белого и одного черного элемента «шахматной доски». За период кадра $T_к$ передается $N_к$ черных и белых элементов, или $N_к/2$ пар элементов. Следовательно,

$$T_и = \frac{T_к}{N_к/2} = \frac{2T_к}{N_к}.$$

Учитывая, что $N_к = k_ф Z^2$, получим следующее выражение:

$$T_и = \frac{2T_к}{k_ф Z^2}.$$

* При этом не учитываются размеры «анализирующего элемента», производящего развертку изображения.

Теперь определим величину $f_и$:

$$f_и = \frac{1}{T_и} = \frac{k_ф Z^2}{2T_к}.$$

Период кадра $T_к$ и частота повторения $f_к$ связаны зависимостью

$$T_к = \frac{1}{f_к}.$$

Поэтому окончательное выражение для частоты повторения импульсов $f_и$ имеет вид:

$$f_и = \frac{k_ф Z^2 f_к}{2}.$$

Такое же значение имеет частота первой гармоники спектра видеосигнала.

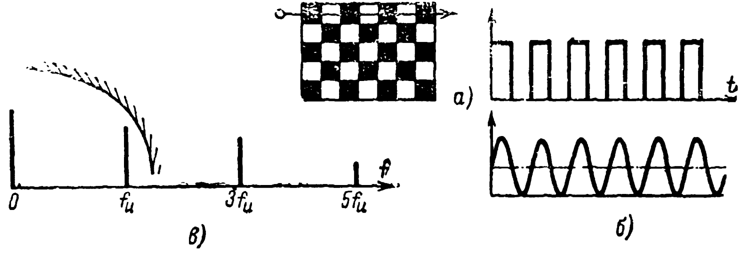


Рис. 18.

Следовательно, при передаче наиболее сложного изображения спектр состоит из постоянной составляющей, частоты $f_и$ и ее нечетных гармоник $3f_и$, $5f_и$ ... и т. д. (рис. 18,*в*).

Частота $f_и$ обычно равна нескольким мегагерцам. Так, например, при $k_ф = 4/3$, $Z = 625$, $f_к = 25$ *гц*

$$f_и = \frac{4 \cdot 625^2 \cdot 25}{3 \cdot 2} \approx 6{,}25 \text{ Мгц}.$$

Третья гармоника будет иметь внушительное значение частоты: 18,75 *Мгц*!

Однако на практике оказывается, что при передаче сигнала, соответствующего н а и б о л е е с л о ж н о м у изображению, достаточно ограничиться его первой гармоникой. Дело в том, что глаз плохо различает градации яркости при передаче изображений очень мелких объектов. Для глаза ввиду малости элемента изображения почти безразлично, наблюдать ли клетки «шахматной доски» с прямоугольным (рис. 18,*а*) или с синусоидальным (рис. 18,*б*) распределением яркости. А поэтому нет нужды в том, чтобы передавать высокочастотные гармоники сигнала (это усложнило бы аппаратуру). Достаточно передать только первую гармонику и постоянную составляющую спектра сигнала (рис. 18,*в*).

Следует, в заключение подчеркнуть еще раз, что эти рассуждения относятся только к случаю передачи с а м ы х м а л ы х э л е-

ментов изображения, когда глаз плохо различает градации яркости.

Рассмотренные выше условные изображения сами по себе практического значения, конечно, не имеют. Однако в реальном изображении всегда могут встретиться крупные детали, похожие на черный или белый прямоугольник «самого простого» изображения или мелкие детали, похожие на клеточку шахматной доски «самого сложного изображения». Поэтому в спектре телевизионного сигнала при передаче реального изображения могут появиться постоянная со-

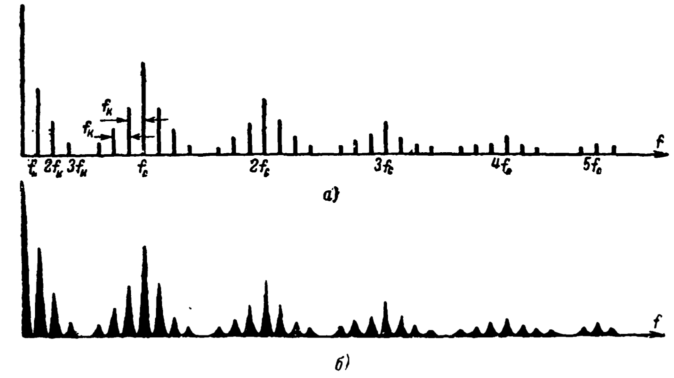


Рис. 19.

ставляющая и низкие частоты (например, частота кадров $f_к$), а также и высокие частоты вплоть до частоты $f_в$, найденной выше для случая передачи «самого сложного изображения».

При передаче произвольного неподвижного изображения* спектр состоит из составляющих с частотами

$$mf_с \pm nf_к$$

и постоянной составляющей. Здесь под m и n понимаются любые произвольные целые числа (0, 1, 2, ... и т. д.).

Форма такого спектра показана на рис. 19,*а*. В составе спектра имеется постоянная составляющая, частота кадров $f_к$ и ее гармоники ($2f_к$, $3f_к$, $4f_к$ и т. д.), частота строк $f_с$ и ее гармоники ($2f_с$, $3f_с$, $4f_с$ ... и т. д.), а также боковые частоты, которые располагаются по обе стороны от частоты строк и ее гармоник. Интервалы между соседними боковыми частотами равны частоте кадров $f_к$. По мере роста частот составляющих их амплитуды уменьшаются.

Как мы видим, спектр сигнала при произвольном изображении приобрел новые составляющие. Однако все они группируются около частот строчной и кадровой разверток и их гармоник.

Каждая из составляющих спектра переносит некоторую долю энергии телевизионного сигнала. Как видно из рис. 19,*а*, энергия, переносимая телевизионным сигналом, концентрируется около составляющих с частотами строчной и кадровой разверток и их гар-

* Практически этому случаю соответствует, например, передача телевизионной испытательной таблицы или заставки в паузе между передачей.

моник. Наибольшая часть энергии переносится низкочастотными составляющими спектра. Энергия, переносимая высокочастотными составляющими, незначительна (это, конечно, не означает, что высокочастотные составляющие не имеют практического значения — они определяют четкость изображения).

Весьма примечательным является то, что в спектре сигнала имеются «пустые промежутки», т. е. такие частотные интервалы, в пределах которых составляющие спектра имеют столь малые амплитуды, что практически с ними можно не считаться.

Если от одного неподвижного изображения перейти к другому, то все составляющие спектра остаются «на своих местах» на оси частот. Изменяются лишь амплитудные соотношения между ними и фазы отдельных составляющих.

Интересно отметить, что в практике часто бывают случаи, когда среднее значение яркости передаваемого изображения не остается постоянным, а изменяется с небольшой скоростью. Это может иметь место, например, в том случае, когда поле зрения передающей камеры медленно перемещается по различно освещенным участкам стадиона, сцены театра и т. п.

Медленное изменение средней освещенности сцены эквивалентно тому, что телевизионный сигнал получает как бы дополнительную модуляцию очень низкими частотами (практически эти частоты не превосходят 2—3 *гц*).

При этом около каждой составляющей спектра появляются «боковые частоты», отстоящие на интервал до 2÷3 *гц*. Особенно существенным является наличие очень низких частот спектра около постоянной составляющей. Потеря этих частот не позволит передать изменения среднего уровня яркости изображения.

Теперь нам осталось выяснить, как будет выглядеть спектр телевизионного сигнала при передаче произвольного движущегося изображения, т. е. при передаче любой телевизионной программы. Оказывается, что при этом спектр по форме соответствует рис. 19,*а* с той лишь разницей, что вместо отдельных (дискретных) боковых частот появляются так называемые «сплошные участки» спектра, в пределах которых отдельные составляющие спектра расположены предельно близко друг от друга (рис. 19,*б*).

Энергия, переносимая сигналом, концентрируется около составляющих с частотами $mf_c \pm nf_к$, причем на долю низкочастотных составляющих приходится бо́льшая часть энергии сигнала.

Таким образом, можно сказать, что при передаче произвольного движущегося изображения форма спектра усложняется, но «стержневыми точками» спектра, вокруг которых концентрируется энергия сигнала, по-прежнему остаются частоты строчной и кадровой разверток и их гармоники.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ВИДЕОСИГНАЛ В ЦЕПЯХ ТЕЛЕВИЗИОННОГО ПРИЕМНИКА

Полоса пропускания цепи передачи видеосигнала

Рассматривая спектр телевизионного видеосигнала, мы установили наличие связи между размерами деталей изображения и соответствующими им частотами спектра. Крупным участкам изображения соответствуют низкие частоты спектра, мелким участкам — высокие частоты. Было также выяснено, что полоса пропускания электрической цепи во избежание искажения сигнала должна быть не меньше ширины спектра сигнала.

В области низких частот полоса пропускания электрической цепи, по которой передается телевизионный видеосигнал, должна быть такой, чтобы передавалась постоянная составляющая, составляющие низкой частоты (0—3 *гц*), частота кадров $f_к$ и ее ближайшие гармоники. Другими словами, нижняя граница полосы пропускания должна совпадать с «нулевой частотой» — постоянной составляющей.

Как же выбрать верхнюю границу полосы пропускания электрической цепи? Поскольку высшие частоты спектра соответствуют наиболее мелким деталям изображения, ограничение спектра со стороны высших частот будет определять четкость телевизионного изображения.

Если мы хотим, чтобы «самое сложное изображение» содержало $N_к$ независимых элементов, то, по крайней мере, должна быть передана первая гармоника спектра $f_и=\frac{k_ф Z^2 f_к}{2}$.

Если нижней границей полосы пропускания является постоянная составляющая $f=0$, а верхней границей — первая гармоника спектра $f_и$, то полоса пропускания $\Delta f_в$ электрической цепи, по которой передается телевизионный видеосигнал, будет равна:

$$\Delta f_в = f_и - 0 = \frac{k_ф Z^2 f_к}{2}.$$

Пользуясь этой формулой, для нашего телевизионного стандарта ($Z=625$ строк, $k_ф=4/3$, $f_к=25$ *гц*) получим:

$$\Delta f_в \approx 6{,}25 \ Мгц.$$

По той же электрической цепи, по которой проходит видеосигнал изображения, должны передаваться синхронизирующие и

гасящие импульсы. Начиная разговор о спектре телевизионного сигнала, мы для простоты рассуждений пренебрегли этими импульсами. Теперь надо определить, не потребуется ли более широкая полоса пропускания, если учесть наличие синхронизирующих и гасящих импульсов.

Как строчные, так и кадровые синхронизирующие и гасящие импульсы периодически повторяются. Длительность каждого из указанных импульсов значительно меньше периода повторения. Как показывают расчеты, спектр периодически повторяющихся импульсов малой длительности содержит постоянную составляющую, частоту повторения f и ее гармоники $2f$, $3f$ ... и т. д. Амплитуды гармоник убывают по мере роста частоты.

Оказывается, что для неискаженного воспроизведения формы таких импульсов достаточно ограничиться передачей составляющих спектра вплоть до гармоники, частота которой примерно равна величине $1/\tau_и$, где $\tau_и$ — длительность импульса. Значит, полоса пропускания цепи, по которой передаются синхронизирующие или гасящие импульсы, должна быть равна:

$$\Delta f_в \geqslant \frac{1}{\tau_и}.$$

Выше было указано, что длительность строчных синхронизирующих импульсов равна 5 *мксек*. Это означает, что для передачи строчных импульсов нужна цепь с полосой пропускания не менее 0,2 *Мгц*. Для передачи кадровых импульсов длительностью 190 *мксек* нужна цепь с полосой пропускания не менее 5 *кгц* (имеется в виду видеоканал).

Синхронизирующие и гасящие импульсы в приемнике проходят по тем же цепям, что и сигнал изображения. А ведь для передачи сигнала изображения нужна цепь с полосой пропускания не менее 5—6 *Мгц*. Поэтому как синхронизирующие, так и гасящие импульсы без искажений пройдут по видеотракту телевизионного приемника (или передатчика), поскольку для их передачи требуется меньшая полоса частот.

Причины искажений видеосигнала

Конструирование электрической цепи с полосой пропускания от нуля до нескольких мегагерц представляет серьезные технические трудности. Эти трудности связаны, прежде всего, с необходимостью одновременной передачи как очень низких, так и очень высоких частот спектра.

На примере прохождения телевизионного видеосигнала через цепи видеоусилителя познакомимся с теми проблемами, которые возникают при передаче телевизионного видеосигнала.

Допустим, что для усиления телевизионного видеосигнала взят двухкаскадный усилитель на резисторах (рис. 20). Будем считать, что лампы усилителя работают в линейном режиме. Обратим внимание на наличие переходной цепочки *CR* между первым и вторым каскадами, которая необходима для устранения возможности попадания высокого напряжения из анодной цепи первой лампы в сеточную цепь второй.

Обойтись без переходной цепочки, не прибегая к значительным усложнениям схемы усилителя, нельзя. Но переходная цепочка не

пропускает постоянную составляющую сигнала, а на очень низких частотах (0—3 *гц*) сопротивление ее столь велико, что сигналы этих частот практически также не попадают на вход второго каскада *. Только с ростом частоты сигнала происходит постепенное увеличение напряжения, передаваемого в цепь управляющей сетки лампы второго каскада.

Начиная с некоторой частоты $f_{гр}$, переходная цепочка практически не влияет на передачу сигнала. Однако при дальнейшем увеличении частоты все более начинает сказываться влияние второй емкости, которой в явном виде нет в усилителе. Речь идет о так

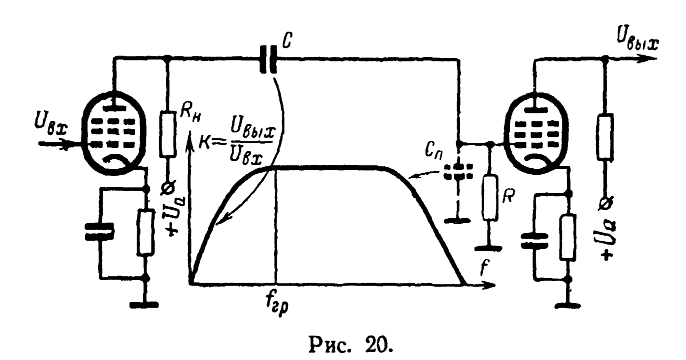


Рис. 20.

называемой «паразитной емкости» $C_п$, которая составлена из емкости монтажных проводов и емкости между сеткой и катодом второй лампы. Эта емкость показана на рис. 20 пунктиром. Емкость $C_п$ на высоких частотах шунтирует сопротивление нагрузки первого каскада, что приводит к уменьшению коэффициента усиления и уменьшению высокочастотного напряжения, попадающего на сетку второй лампы. Влияние емкости $C_п$ увеличивается с ростом частоты.

Частотная характеристика видеоусилителя из-за действия емкостей C и $C_п$ получает завалы на низких и высоких частотах. При такой частотной характеристике постоянная составляющая и очень низкие частоты спектра (0—3 *гц*) практически полностью подавляются, а частота кадров и ее гармоники сильно ослабляются. Так как высшие частоты спектра также подавляются, уменьшается четкость изображения. Будут искажения и в передаче распределения яркости крупных участков изображения (из-за ослабления нижних частот).

Дополнительные неприятности появятся за счет того, что подъему и спаду частотной характеристики будут соответствовать нелинейные участки фазовой характеристики. Поэтому, кроме частотных искажений сигнала, появятся еще и фазовые.

---

* Емкостное сопротивление x_C равно:

$$x_C = \frac{1}{2\pi f C},$$

где f — частота колебаний.

Как влияют искажения видеосигнала на телевизионное изображение

Частотные и фазовые искажения сигнала могут возникать не только в видеоусилителях, но также и в других элементах электрических цепей, например в кабелях и т. п. Приходится применять те или иные меры для устранения этих искажений — вводить так называемые схемы коррекции частотных (или фазовых) искажений.

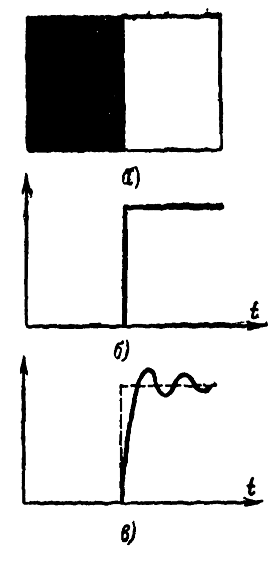


Рис. 21.

Как же определить потребность в той или иной схеме коррекции? Или, с другой стороны, как установить причину появления дефекта на изображении? Для решения этих вопросов необходимо знать, к каким дефектам изображения приводит то или иное искажение сигнала.

В общих чертах мы уже рассмотрели этот вопрос и можем сказать, к чему приводит ослабление или потеря тех или иных составляющих спектра. Но наши знания по этому вопросу являются пока что очень приблизительными. Если, например, сказать, что «ослабление низких частот влияет на распределение яркости крупных участков изображения», то мы еще не сможем конкретно представить, что же, в сущности, изменится на изображении в результате нижних частот.

Надо более обстоятельно рассмотреть, в чем заключаются дефекты изображения, появляющиеся при наличии частотных или фазовых искажений сигнала. Для этого удобно задаться каким-нибудь эталонным изображением. Это изображение должно быть выбрано так, чтобы, зная его дефекты, можно было бы сделать общие выводы о возможных дефектах любых произвольных изображений.

Опыт показывает, что хорошую службу в этом отношении может сослужить изображение в виде двух вертикальных полос — черной и белой (рис. 21,*а*). Такому изображению при отсутствии искажений соответствует видеосигнал прямоугольной формы, повторяющийся с частотой строк (рис. 21,*б*).

Искажение фронта прямоугольного импульса (рис. 21,*в*) приведет к тому, что вместо резкого перехода от черного к белому появится более плавный (размытый) переход. Контур изображения окажется смазанным.

Искажение горизонтальной части импульса приводит к неправильной передаче яркости крупного участка изображения (рис. 21,*в*).

Зная, как передаются контуры изображения, можно сделать определенный вывод и об условиях передачи малоразмерных деталей, т. е. о четкости изображения.

Выделим на контуре изображения «пограничный слой», состоящий из самых мелких элементов изображения соответственно его

четкости (рис. 22,*а*). При завале фронта уровень сигнала, достигаемый за время развертки одного элемента изображения, будет весьма невелик (рис. 22,*б*). Если такой элемент изображения был бы изолирован от других, то его яркость оказалась бы очень малой и распознать его было бы трудно.

Более того, при значительном завале фронта контраст этого элемента изображения на окружающем фоне может оказаться меньше порогового значения и мы вообще не сможем различить малую деталь изображения.

Значит, действительно, зная условия передачи контуров изображения, можно судить о воспроизведении мелких деталей изображения, а следовательно, и об его четкости.

Теперь перейдем к рассмотрению дефектов изображения при наличии частотных и фазовых искажений.

Поскольку роль постоянной составляющей сигнала была ранее выяснена, займемся в основном гармоническими составляющими спектра. Сигнал без постоянной составляющей (для рассматриваемого нами эталонного изображения, рис. 21,*а*) показан на рис. 23,*а*. Этот сигнал можно считать состоящим из первой гармоники, имеющей частоту строк f_c, и из суммы всех прочих гармоник (рис. 23,*б*). При их сложении получается сигнал прямоугольной формы.

Рис. 22.

Такое представление сигнала дает возможность качественно оценить искажения сигнала при неправильной передаче его отдельных составляющих.

Характеристики ряда основных случаев приведены в табл. 1, а соответствующие им формы сигналов показаны на рис. 23,*в—е*. При построении графиков производилось простое суммирование текущих значений первой гармоники и высокочастотного «остатка» сигнала (рис. 24,*б*). Последний график (рис. 23,*е*) построен с учетом того, что при сдвиге высших гармоник по фазе на горизонтальную часть импульса будут накладываться колебания высокой частоты.

Приведенные примеры являются, конечно, несколько условными. На практике искажениям могут подвергаться составляющие в пределах целых участков диапазона частот. Кроме того, частотные и фазовые искажения всегда будут сопутствовать друг другу, так как любое отклонение частотной характеристики от линейности приводит к появлению нелинейного участка на фазовой характеристике. Однако, как показывает более детальное рассмотрение вопроса, даже и в более общих, практически встречающихся случаях виды частотно-фазовых искажений формы сигнала остаются примерно такими же, как указано в табл. 1 и на рис. 23.

Можно назвать следующие виды характерных искажений формы сигнала (рис. 24):

перекос горизонтальной части (наклон вниз или вверх, (рис. 24,*а—в*);

уменьшение крутизны фронтов сигнала (рис. 24,*г*);

появление кратковременных одиночных пиков (выбросов) или целой серии затухающих колебаний, искажающих начальный участок горизонтальной части после скачка сигнала и участок, предшествующий скачку сигнала (рис. 24,*д, е*).

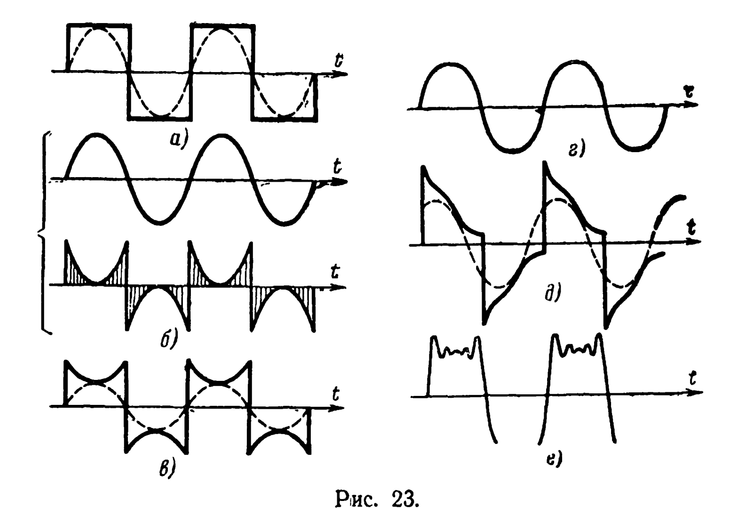


Рис. 23.

Перекос горизонтальной части импульса обычно появляется при наличии завала (ослабления) нижних частот спектра. Для различных электрических цепей перекос может быть наклонен вверх или вниз.

Таблица 1

Вид искажений	Сущность искажения	Влияние на форму сигнала	№ рисунков
Частотные искажения	Уменьшение амплитуды низкочастотной составляющей (первой гармоники)	Искажение горизонтальной части импульса	24,*в*
	Уменьшение доли высших гармоник	Уменьшение крутизны фронта сигнала	24,*г*
Фазовые искажения	Сдвиг по фазе низкочастотной составляющей (первой гармоники)	Перекос горизонтальной части импульса	24,*д*
	Сдвиг по фазе высших гармоник	Появление высокочастотных колебаний (выбросов) на горизонтальной части сигнала	24,*е*

За счет перекоса горизонтальной части импульса яркость светлой полосы на изображении не будет постоянной. Плотность штрихов на рис. 25 условно показывает, как изменяется яркость изображения в строчном направлении. Такой вид искажений называется тянущимся продолжением, или «тянучкой». После яркой вертикальной полосы появляется очень темный провал, который затем постепенно светлеет, после темной полосы следует участок с повышенной яркостью.

Уменьшение крутизны фронта импульса происходит прежде всего из-за завала верхних частот спектра. Чем раньше начинается завал верхних частот (рис. 26,*а*), тем меньше крутизна фронта импульса (рис. 26,*б*). Сильно сказывается на крутизне импульса также и наличие фазовых искажений. Как мы уже говорили, уменьшение крутизны фронта импульса приводит к тому, что контуры изображения становятся расплывчатыми, а четкость изображения понижается.

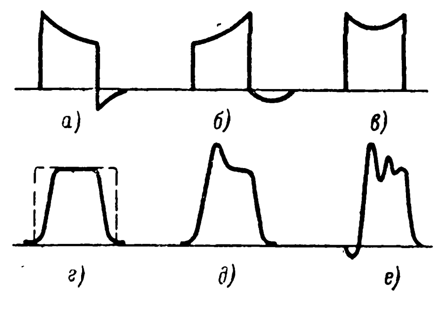


Рис. 24.

Выбросы и колебательные процессы на горизонтальных участках сигнала (рис. 27) появляются за счет фазовых искажений высокочастотных и среднечастотных составляющих спектра. Колебательные процессы обычно являются затухающими. При сильном затухании имеется только один выброс. Нелинейность фазовой характеристики электрической цепи в области высших частот увеличивается при увеличении крутизны среза частотной характеристики (рис. 27,*а, б*). Поэтому с увеличением крутизны среза частотной характеристики возрастают амплитуды выбросов на горизонтальных участках сигнала (рис. 27,*в*). Следовательно, можно сказать, что частотные искажения косвенным путем влияют на величину выбросов колебательных процессов.

Интересно отметить, что частота колебаний, накладывающихся на горизонтальную часть сигнала, примерно равна частоте, на которой начинается спад частотной характеристики со стороны верхних частот.

Выбросы и колебательные процессы, накладывающиеся на горизонтальную часть импульса сигнала, приводят к тому, что на изображении появляются тонкие черные и белые линии, параллельные контурным линиям изображения — переходам от черного к белому и обратно (рис. 27,*г*).

Выброс создает одну ложную линию контура, колебательный процесс — несколько таких линий.

Дополнительное «оконтуривание» изображения создает впечатление выпуклости, пластичности контуров. Такого рода искажения изображения называются пластикой.

Сильно выраженная пластика существенно ухудшает изображение: перед контурами ярких объектов получаются черные обводы (за счет переднего выброса), за ярким объектом следует двой-

ное или многократное повторение контура. При слабой пластике происходит некоторое подчеркивание контуров изображения, которое можно считать полезным, так как оно делает контур более отчетливым.

Следует заметить, что появление двойных или многократно повторяющихся контуров возможно не только из-за фазовых искажений, но также из-за отраженных сигналов. Например, на вход приемника, помимо прямого сигнала от телецентра, может поступить сигнал, отраженный от земли или высоких соседних зданий.

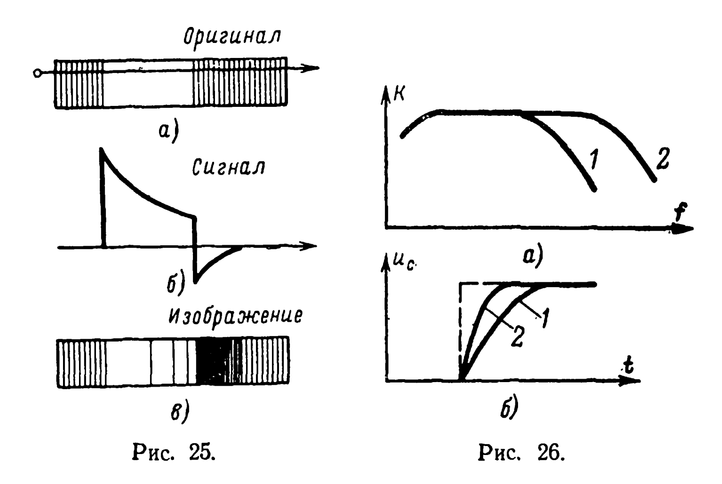


Рис. 25.

Рис. 26.

При передаче сигнала от антенны ко входу приемника по кабелю также может возникать отраженный сигнал, если входное сопротивление приемника не равно волновому сопротивлению кабеля. Но в этом случае, кроме контуров, повторяются с некоторым сдвигом и «внутренние» участки объектов, а сами повторяющиеся контуры не меняются по яркости (они все либо темные, либо светлые, в то время как пластика получается при чередовании темных и светлых повторений контуров).

Надо также иметь в виду, что уменьшение резкости контуров и понижение четкости изображения может происходить не только вследствие завала верхних частот спектра сигнала, но и за счет плохой фокусировки электронного луча кинескопа или действия апертуры электронного луча.

Термин «апертура» нуждается в некотором пояснении. Как мы уже говорили, световое пятно, которым производится «запись» изображения на экране кинескопа, имеет конечные размеры, определяющие величину самого малого элемента телевизионного изображения. Это световое пятно создается при бомбардировке экрана кинескопа электронным потоком. Даже при самой хорошей фокусировке электроны идут к экрану в виде пучка, имеющего некоторое поперечное сечение. Сечение электронного луча принято называть его «апертурой».

Раз апертура электронного луча имеет некоторую конечную

величину, то и световое пятно на экране кинескопа не может иметь вид точки ничтожно малых размеров.

Если даже предположить, что фронт сигнала имеет очень большую крутизну, то контур изображения все равно будет в какой-то степени размыт за счет действия апертуры электронного луча. При этом надо отметить, что относительное значение этого эффекта тем больше, чем меньше размер экрана кинескопа. Для кинескопов с большими экранами действие апертуры можно не учитывать. Рассматривая частотно-фазовые искажения, мы вели рассуждения применительно к эталонному изображению в виде вертикального черно-белого перехода (рис. 21). На практике в качестве эталонного изображения используется телевизионная испытательная таблица. На таблице имеется ряд фигур, позволяющих проверить наличие частотно-фазовых искажений.

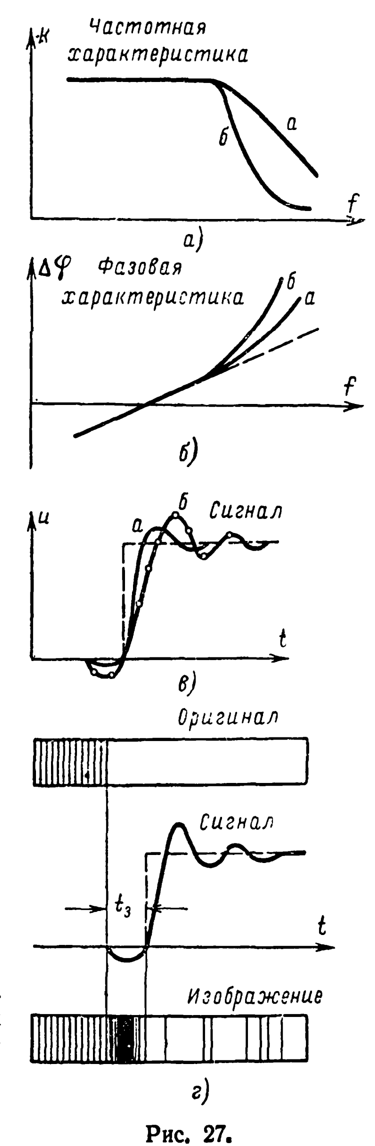


Рис. 27.

Тянущиеся продолжения (тянучки) могут быть выявлены с помощью черных прямоугольников, ориентированных в горизонтальном направлении (рис. 28). При наличии тянучек за черным прямоугольником появляется длинное белое продолжение, постепенно достигающее яркости фона.

Степень завала фронта импульса может быть определена с помощью вертикальных штрихов и клиньев, по которым ведется количественная оценка четкости телевизионного изображения (рис. 29).

При развертке вдоль строки, проходящей через изображение серии чередующихся черных и белых штрихов одинаковой толщины (рис. 29,*а*), в составе строчного видеосигнала появляются импульсы, длительность которых зависит от ширины штриха (рис. 29,*б*). Степень уменьшения крутизны фронта импульса определяется величиной завала верхних частот спектра и действием апертуры луча передающей трубки. Для простоты рассуждений положим, что фронт импульса за счет искажений передачи верхних ча-

стот наклоняется на угол α. При этом уменьшение ширины штрихов испытательной таблицы будет приводить к изменениям формы сигнала, поступающего на кинескоп (рис. 29,*в*). Начиная с некоторой минимальной толщины штрихов, кроме завала фронта импульса, будет происходить и уменьшение его амплитуды, так как сигнал при коротком импульсе не сможет за время длительности импульса достичь своего наибольшего значения.

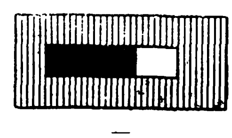


Рис. 28.

Как это отразится на изображении, воспроизводимом на экране кинескопа? На экране появятся штрихи, яркость которых будет определяться амплитудой импульса сигнала. А поскольку амплитуда импульса сигнала уменьшается при уменьшении толщины штрихов испытательной таблицы, то и яркость штрихов, воспроизводимых на экране кинескопа, будет падать. При некоторой достаточно малой толщине штрихов испытательной таблицы контраст между светлыми штрихами и темными промежутками (фоном) между ними станет меньше пороговой величины, при которой глаз различает два объекта различной яркости.

Около штрихов стоят цифры, которые показывают, какую долю ширины испытательной таблицы составляет ширина штриха ($^1/_{300}$, $^1/_{400}$ и т. д.). Если наблюдатель перестает различать, например, штрихи, около которых стоит отметка 450, значит фактическая (реальная) четкость изображения такова, что вдоль строки может быть размещено не более чем 450 элементов изображения с независимыми значениями яркости.

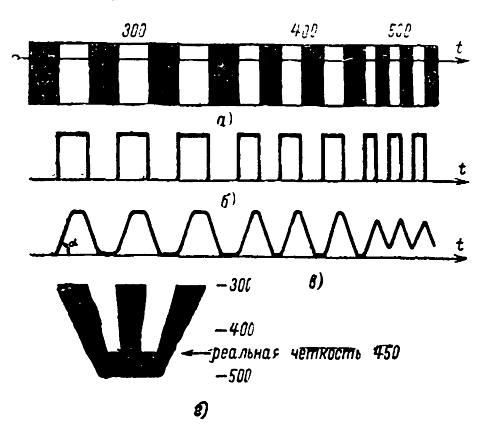


Рис. 29.

Увеличение завала верхних частот спектра сигнала приведет к дальнейшему уменьшению реальной четкости изображения.

Рассматривая характеристики телевизионного изображения, мы нашли, что вдоль строки может быть расположено $N_с$ элементов с независимыми значениями яркости. Если $k_ф = ^4/_3$, $Z = 625$, то $N_с \approx 830$ элементов. На практике за счет завала верхних частот

спектра телевизионного сигнала, а также за счет апертуры электронных лучей передающей и приемной трубок и потери части элементов во время обратного хода развертки реальная четкость оказывается ниже. У телевизоров хорошего качества различается вдоль строки 450—500 элементов.

Кроме вертикальных штрихов, для определения четкости изображения вдоль строк используются также вертикальные штриховые клинья испытательной таблицы (рис. 29,*г*). Эти клинья представляют собой, по сути дела, штрихи разной толщины, соединенные вместе.

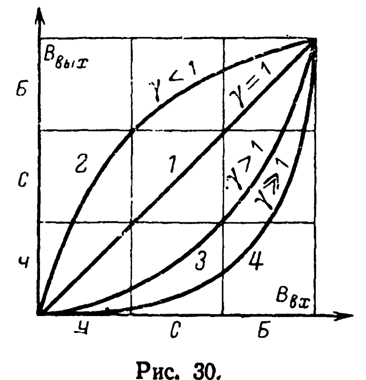


Рис. 30.

Надо заметить, что для оценки четкости изображения в вертикальном направлении (по кадру) также используются штриховые клинья, только расположенные горизонтально. Однако четкость изображения по кадру не зависит от частотно-фазовых характеристик электрической цепи, по которой передается сигнал изображения. Четкость по кадру зависит только от апертуры луча передающей и приемной трубок, а также от числа строк в кадре.

По испытательной таблице можно судить также о наличии фазовых искажений, приводящих к появлению выбросов и колебательных процессов. Ложные контуры наиболее хорошо заметны около вертикальных штрихов и клиньев, предназначенных для определения четкости вдоль строки.

Рассматривая частотно-фазовые искажения телевизионного сигнала, мы предполагали, что все звенья электрической цепи работают в линейных режимах, когда напряжение на выходе цепи прямо пропорционально входному сигналу, и амплитудная характеристика имеет вид прямой линии. Однако на практике могут встретиться случаи, когда тот или иной участок электрической цепи оказывается нелинейным. Например, для большинства передающих телевизионных трубок рост тока сигнала замедляется при увеличении яркости изображения. В приемных трубках, напротив, яркость изображения на экране возрастает тем быстрее, чем больше напряжение на модуляторе трубки.

В силу этого представляет интерес вопрос о том, как влияют на телевизионное изображение нелинейные искажения уровней сигнала. На рис. 30 показаны три возможных варианта зависимости между яркостью $B_{вх}$ передаваемого изображения и яркостью $B_{вых}$ изображения на экране кинескопа. Эти зависимости называют световыми характеристиками телевизионной системы. Можно записать следующее выражение:

$$B_{вых} = B_{вх}^{\gamma}.$$

Если показатель степени $\gamma=1$, то характеристика линейная (кривая *1*).

При $\gamma<1$ характеристика имеет вид кривой *2*, при $\gamma>1$ — вид кривой *3* или *4*.

На осях графика условно отметим три участка яркостей, соответствующих черному, серому и белому на изображении (*Ч*, *С* и *Б*).

В случае линейной характеристики *1* черному, серому и белому на оригинале будут соответствовать аналогичные участки яркости на телевизионном изображении.

При нелинейной характеристике *2* «черное» на оригинале превращается в «серое» на изображении, а «серое» переходит в белую область. Изображение становится вялым и блеклым. Следовательно, такого рода нелинейность характеристики нежелательна. При нелинейной характеристике *3* «черному» и «серому» на оригинале будет соответствовать только «черное» на изображении. Произойдет сгущение теней, затемнение серых, вялых тонов. Изображение станет более контрастным, а следовательно, более разборчивым.

Таким образом, при нелинейной характеристике *3* оказывается возможным увеличить контраст изображения на экране кинескопа по сравнению с контрастом оригинала. Такого рода нелинейность световой характеристики полезна. Поэтому, например, не следует опасаться нелинейных искажений сигнала, которые могут произойти за счет нелинейности модуляционной характеристики кинескопа. Единственное, на что здесь следует обращать внимание, заключается в том, чтобы нелинейность амплитудной характеристики не была чрезмерной. В этом случае (кривая *4* на рис. 30) на изображении появляется слишком много «черного».

Степень нелинейности световой характеристики телевизионной системы обычно регулируется на передающей станции путем введения дополнительных нелинейных устройств.

Устранение искажений видеосигнала

Появление пластики, тянучек, размытости контуров, искажений яркости и других дефектов ухудшает качество телевизионного изображения. Поэтому как на телецентре, так и в телевизионном приемнике принимается ряд мер, направленных на уменьшение искажений телевизионного сигнала. Рассмотрим основные способы уменьшения этих искажений.

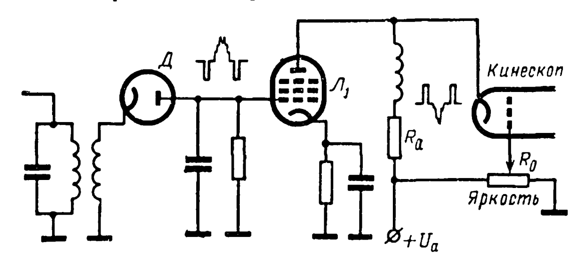


Рис. 31.

Для того чтобы по электрической цепи передавалась постоянная составляющая и наиболее низкие частоты спектра, в этой цепи не должно быть разделительных конденсаторов. Это условие легко выполнить в телевизоре, имеющем один каскад видеоусилителя (рис. 31). Напряжение с выхода детектора, содержащее постоянную

составляющую, подается на управляющую сетку лампы видеоусилителя $Л_1$. Анодная нагрузка видеоусилителя $R_а$ непосредственно соединяется с цепью модулятора кинескопа. С помощью резистора R_0 в цепь модулятора подается дополнительное напряжение, позволяющее выбрать положение исходной точки на модуляционной характеристике кинескопа (для установки яркости изображения).

При наличии двухкаскадного видеоусилителя постоянная составляющая теряется в переходной цепи *RC*. В этом случае может использоваться искусственный способ восстановления ее с помощью так называемой *фиксирующей* схемы (рис. 32,*а*). В ее состав вхо-

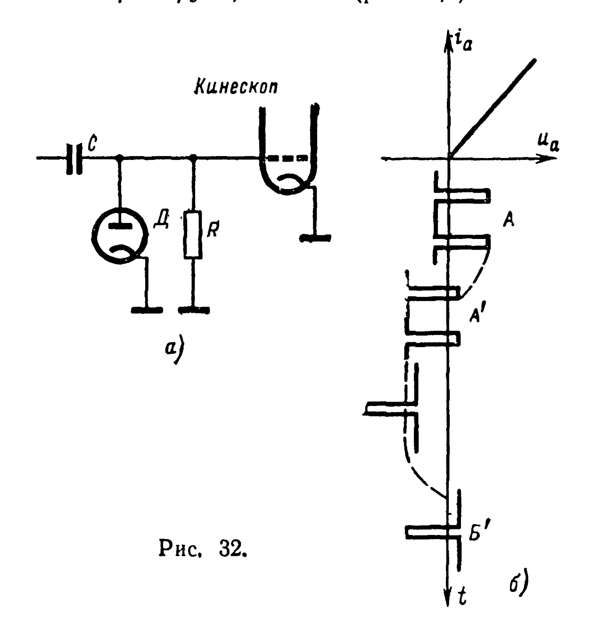


Рис. 32.

дят диод *Д*, резистор *R* и конденсатор *С*. Работу фиксирующей схемы упрощенно можно представить следующим образом. Если передается изображение типа *А*, показанное на рис. 17,*а*, то осциллограмма сигнала после потери постоянной составляющей располагается так, как показано на рис. 32,*б* (случай *А*).

В моменты прихода положительных импульсов конденсатор *С* заряжается через диод *Д*. В течение остального времени конденсатор медленно разряжается через резистор *R*.

За счет автоматического смещения, образующегося на резисторе *R* при прохождении почти постоянного по величине разрядного тока конденсатора *С*, рабочая точка смещается влево по характеристике диода, пока не займет положения динамического равновесия (случай *А'*). Если теперь вместо сюжета *А* будет передаваться сюжет *Б*, то положение динамического равновесия изменится. Но оно будет таким, что вершины импульсов сигнала окажутся на том же уровне, как и для случая передачи сюжета *А* (случай *Б'*). Следовательно, независимо от сюжета передачи уровни черного и белого в сигнале всегда будут занимать одинаковое поло-

жение, т. е. постоянная составляющая сигнала будет восстановлена. Сигнал с выхода фиксирующей схемы, содержащий постоянную составляющую, вводится в цепь модулятора кинескопа.

Для правильной работы фиксирующей схемы необходимо, чтобы в сигнале содержались площадки, не изменяющие своего положения относительно уровня черного. Такими площадками обычно являются гасящие импульсы.

Интересно отметить, что фиксирующая схема может восстанавливать не только постоянную составляющую, но и наиболее низкие частоты спектра сигнала примерно до частоты $f_{гр}$, равной 0,1 от частоты строк $f_с$:

$$f_{гр}=0{,}1f_с.$$

Если $f_с=15\,625$ *гц*, то $f_{гр}\approx 1\,500$ *гц*.

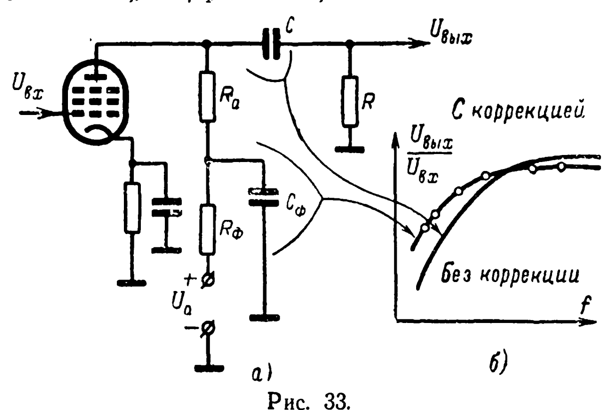


Рис. 33.

Поэтому в случае применения фиксирующей схемы можно допустить завал частотной характеристики видеоусилителя в области от 0 до 1—1,5 *кгц*.

Для устранения завала частотной характеристики видеоусилителя в области нижних частот обычно применяют корректирующую цепочку $R_ф C_ф$ (рис. 33,*а*), включаемую в анодную цепь лампы усилителя. Принцип ее действия можно пояснить следующим образом.

Допустим, что частотная характеристика усилителя без коррекции имеет вид, показанный на рис. 33,*б* (завал нижних частот объясняется действием переходного конденсатора *C*). При включении корректирующей цепи $R_ф C_ф$ величина анодной нагрузки усилителя оказывается различной для сигналов низких и высоких частот. На низких частотах емкостное сопротивление конденсатора $C_ф$ велико по сравнению с сопротивлением резистора $R_ф$. При этом практически можно считать, что анодная нагрузка состоит из последовательного соединения резисторов $R_а$ и $R_ф$. На высоких частотах конденсатор $C_ф$ ввиду малого емкостного сопротивления сильно шунтирует резистор $R_ф$. При этом сопротивление нагрузки уменьшается — оно приблизительно равно $R_а$.

При наличии коррекции коэффициент усиления $k=U_{вых}/U_{вх}$, пропорциональный величине анодной нагрузки лампы, будет не-

сколько увеличиваться на низких частотах по сравнению со случаем, когда используется усилитель без коррекции. Это приведет к уменьшению завала нижних частот (рис. 33,*б*), и следовательно, к уменьшению низкочастотных искажений сигнала.

Подбором параметров схемы можно практически полностью устранить искажения сигнала в области нижних частот и избавиться от перекоса горизонтальной части импульса сигнала, приводящего к появлению тянущихся продолжений.

Для устранения завала частотной характеристики в области высших частот также применяют корректирующие цепи.

Наиболее часто для высокочастотной коррекции применяют катушку индуктивности L, включаемую последовательно с анодной

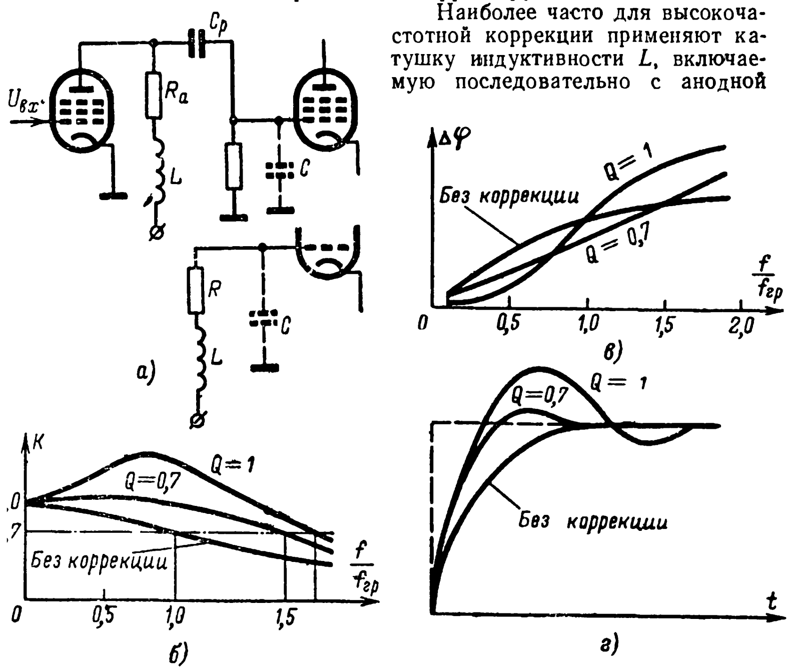


Рис. 34.

нагрузкой видеоусилителя $R_а$ (рис. 34,*а*). На высоких частотах емкостное сопротивление разделительного конденсатора $C_р$ весьма мало, и с ним можно не считаться.

Емкость C, составленная из выходной емкости лампы видеоусилителя, монтажной емкости и входной емкости лампы следующего каскада*, вместе с индуктивностью L образует параллельный колебательный контур, в который входит также активное сопротивление резистора $R_а$. Ввиду того, что сопротивление резистора $R_а$ обычно велико (не менее 5—10 *ком*), добротность контура Q, равная величине $Q = \sqrt{\frac{L}{C}} / R_а$, получается небольшой ($Q \leqslant 1$).

* Этим каскадом может быть второй каскад видеоусилителя или кинескоп.

Тем не менее на резонансной частоте выходное напряжение видеоусилителя существенно увеличивается. Точно так же увеличивается и коэффициент усиления K (рис. 34,*б*). Резонансная частота лежит в области высших частот спектра видеосигнала, поэтому за счет подъема коэффициента усиления удается предотвратить падение частотной характеристики, обусловленное действием емкости C на высоких частотах. При наличии высокочастотной коррекции значение верхней граничной частоты тем больше сдвигается в область высших частот, чем больше добротность контура Q. Однако при величине Q, близкой к единице, на высших частотах

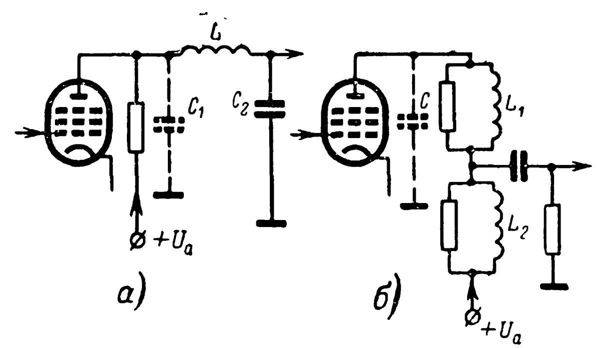


Рис. 35.

получается резкий подъем частотной характеристики (рис. 34,*б*), что влечет за собой также и увеличение нелинейности фазовой характеристики усилителя (рис. 34,*в*). Это вызывает появление значительного выброса (или колебательного процесса) на горизонтальной части импульса сигнала (рис. 34,*г*). Появляется пластика на изображении. Поэтому величину добротности Q берут около 0,7. При этом полоса пропускания видеоусилителя (на уровне 0,7) расширяется примерно в 1,5 раза. Резкий подъем на частотной характеристике отсутствует, фазовая характеристика становится почти линейной. Устраняется выброс на горизонтальной части импульса сигнала.

Если полосу пропускания требуется расширить более чем в 1,5 раза, то применяют так называемые сложные схемы коррекции (рис. 35,*а, б*). Здесь имеются два независимых корректирующих элемента: индуктивность L и емкости C_1 и C_2 или же две индуктивности L_1 и L_2 с емкостью C. Применение сложных схем коррекции позволяет расширить полосу пропускания в 2—4 раза.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

СПЕКТР ТЕЛЕВИЗИОННОГО РАДИОСИГНАЛА

Спектр радиосигнала

Как мы уже говорили, высокочастотный сигнал передатчика обычно модулируется по амплитуде, а огибающая модулированного сигнала соответствует по форме полному телевизионному видеосигналу (рис. 2,*б*). Однако необходимо помнить, что огибающая модулированного сигнала есть лишь воображаемая кривая, соединяющая вершины (амплитудные значения) высокочастотных колебаний.

Если телевизионный видеосигнал является непосредственной электрической «копией» передаваемого изображения, то этого нельзя прямо сказать про телевизионный радиосигнал. Информация о передаваемом изображении содержится в телевизионном радиосигнале в «завуалированной форме» — в виде закона изменения амплитудных значений высокочастотных колебаний, т. е. в виде огибающей модулированного сигнала.

В телевизионном приемнике высокочастотный модулированный сигнал после усиления подвергается детектированию. В результате этого восстанавливается исходная форма полного телевизионного видеосигнала.

Знакомство с радиосигналом начнем с выяснения структуры его спектра. На первый взгляд этот вопрос может показаться весьма трудным, если учесть сложность формы радиосигнала, модулированного полным телевизионным видеосигналом. Однако эту трудность легко устранить, если учесть одно общее правило, используемое при определении спектра модулированных колебаний.

Допустим, что высокочастотные колебания с несущей частотой $f_н$ (рис. 36,*б*) модулируются по амплитуде гармоническим сигналом с частотой F (рис. 36,*а*). Получается модулированный сигнал, огибающая которого по форме повторяет колебания с частотой F (рис. 36,*в*).

Спектр немодулированных колебаний несущей частоты содержит одну спектральную линию на частоте $f_н$. Спектр модулирующего сигнала содержит одну спектральную линию на частоте F. Расчеты показывают, что спектр модулированного сигнала содержит три спектральных линии с частотами $f_н$, $f_н+F$, $f_н-F$. Частоты $f_н+F$, $f_н-F$ называются боковыми частотами.

Следует подчеркнуть то обстоятельство, что сигналы боковых частот сами по себе являются немодулированными; их амплитуды — величины постоянные.

Путем графического построения можно было бы проверить, что в результате сложения сигналов несущей и боковых частот

действительно получается исходный модулированный сигнал. Если модулирующий сигнал имеет сложную форму, то его спектр можно представить в виде некоторой совокупности составляющих с частотами F_1, F_2, F_3 (рис. 36,*в*). В этом случае спектр модулированных высокочастотных колебаний будет содержать составляющие с частотами $f_н$, $f_н \pm F_1$, $f_н \pm F_2$ и $f_н \pm F_3$.

Если посмотреть на спектр модулированного радиосигнала, то он как бы состоит из составляющих с частотами F_1, F_2, F_3, перенесенных по оси частот на расстояние $f_н$ с добавлением зеркального отображения полученной таким образом картины.

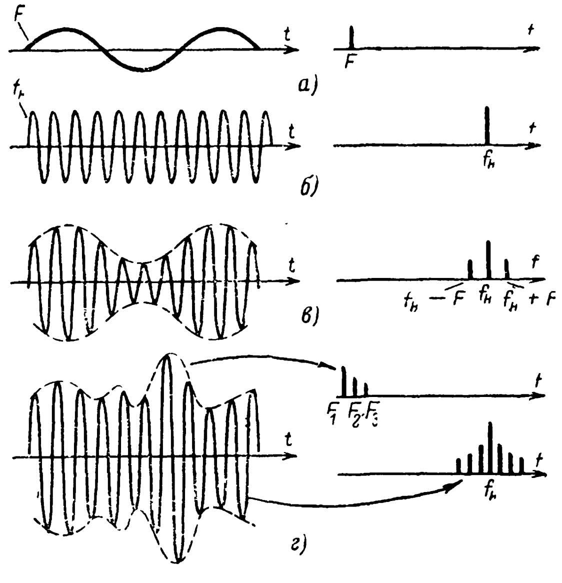


Рис. 36.

Сказанное выше позволяет без особых затруднений определить состав спектра телевизионного радиосигнала. Для этого надо поступить следующим образом (рис. 37):

начертить спектр телевизионного видеосигнала (рис. 37,*а*);

перенести все спектральные линии спектра видеосигнала вправо по оси частот на интервал, равный значению несущей частоты $f_н$;

добавить к полученной картине ее зеркальное отражение.

Таким образом, мы получим графическое изображение спектра телевизионного радиосигнала (рис. 37,*б*).

Заметим одно важное обстоятельство: низким частотам спектра видеосигнала соответствуют составляющие спектра радиосигнала, которые близко примыкают к несущей частоте $f_н$. Напротив, высоким частотам спектра видеосигнала соответствуют «периферийные» составляющие спектра радиосигнала, удаленные от несущей частоты.

Выше мы говорили о том, что низкочастотные составляющие спектра видеосигнала несут на себе информацию о распределении

яркости крупных участков изображения, а высокочастотные составляющие — информацию о мелких деталях и контурах изображения.

Обратившись к форме спектра радиосигнала, мы можем теперь сделать заключение, что *составляющие спектра радиосигнала, примыкающие к несущей частоте $f_н$, несут информацию о распределении яркости крупных участков изображения, а периферийные составляющие — информацию о мелких деталях и контурах изображения.*

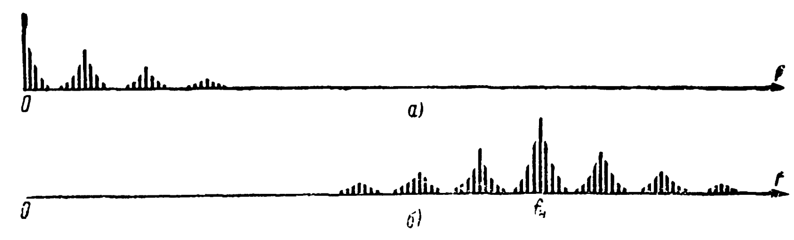


Рис. 37.

Из графика, показанного на рис. 37,*б*, видно также, что ширина спектра телевизионного радиосигнала $\Delta f_р$ в 2 раза больше ширины спектра видеосигнала, т. е. $\Delta f_р = 2\Delta f_в$.

Несущая частота

Выбор несущей частоты канала передачи изображения определяется прежде всего условиями неискаженного воспроизведения формы огибающей радиосигнала после детектирования.

Для этого нужно, чтобы на время длительности самого короткого импульса, встречающегося в видеосигнале изображения, приходилось не менее 2—3 периодов колебаний высокой частоты. Только при этом детектор сможет без искажений выделить видеосигнал, соответствующий огибающей высокочастотного напряжения.

Наиболее короткий импульс возникает при передаче черного или белого элемента «самого сложного» изображения, показанного на рис. 4,*в*.

Длительность этого импульса, как было указано, составляет 0,08 *мксек*.

Значит, период высокочастотных колебаний должен быть не более 0,04 *мксек* или же частота колебаний $f_н$ должна быть не менее 25 *Мгц*. При дальнейшем повышении несущей частоты точность воспроизведения формы видеосигнала при детектировании повышается.

Спектр радиосигнала звукового сопровождения располагается в непосредственной близости от спектра телевизионного сигнала. В соответствии с нашим стандартом несущая частота сигнала звукового сопровождения на 6,5 *Мгц* выше несущей частоты изображения.

Несущая частота первого канала изображения составляет 49,75 *Мгц*. Несущая частота звукового сопровождения при этом равна 49,75+6,5=56,25 *Мгц*.

Таблица 2

№ канала	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Несущая частота изображения, *Мгц* . .	49,75	59,25	77,25	85,25	93,25	175,25	183,25	191,25	199,25	207,25	215,25	223,25
Несущая частота звукового сопровождения, *Мгц*	56,25	66,75	83,75	91,75	99,75	181,75	189,75	197,75	205,75	213,75	221,75	229,75

Обратим внимание на цифру 6,5 *Мгц*. Такая разность между несущими частотами изображения и звука сохраняется во всех двенадцати каналах, отведенных для телевизионных передач.

Несущие частоты для всех каналов указаны в табл. 2.

Наименьшей несущей частоте 49,75 *Мгц* соответствует длина волны $\lambda = \frac{300}{f\ (Мгц)} = \frac{300}{49,75} = 6$ *м*, а наибольшей несущей частоте 223,25 *Мгц* — длина волны 1,3 *м*.

Ведение телевизионных передач на метровых волнах ограничивает максимально возможную дальность прямой телевизионной передачи пределами прямой геометрической видимости между антеннами передатчика и приемника. Наличие предела геометрической видимости объясняется тем, что ультракороткие волны почти не огибают земную поверхность.

Подавление боковой полосы спектра

Какой же должна быть полоса пропускания цепи, по которой передается телевизионный радиосигнал?

Напрашивается простой ответ на этот вопрос: полоса пропускания должна быть не меньше ширины спектра радиосигнала $\Delta f_р$. С этим нельзя не согласиться. Но оказывается, есть еще один интересный ответ на поставленный вопрос. Обратившись к рис. 37,*б*, заметим, что в спектре радиосигнала информация о передаваемом изображении как бы дублируется. Так, например, информация о распределении яркости крупных участков изображения передается с помощью составляющих спектра, которые близко примыкают к несущей частоте как справа, так и слева от нее. Точно так же информация о мелких деталях и контурах изображения передается «левыми» и «правыми» периферийными составляющими.

Возникает вопрос: обязательна ли передача как левых, так и правых составляющих спектра радиосигнала или, точнее говоря, и нижней и верхней боковых полос спектра?

Оказывается, что такая передача не является обязательной.

Можно передавать только сигнал несущей частоты и одну из боковых полос спектра, отбросив вторую боковую полосу ча-

стот. Как показывают расчеты, в результате суммирования всех составляющих при этом получается радиосигнал, огибающая которого имеет такую же форму, как и при передаче обеих боковых полос спектра. Поэтому после детектирования однополосного радиосигнала получается телевизионный видеосигнал, который по форме не отличается от видеосигнала, передаваемого с телецентра. Передача телевизионного радиосигнала с одной боковой полосой частот имеет ряд практических преимуществ по сравнению с передачей двухполосного сигнала. Передача однополосного радиосигнала производится практически во всех системах телевизионного вещания.

Сейчас во многих странах ведется многопрограммное телевизионное вещание. Каждой программе отводится свой телевизионный канал, т. е. некоторый интервал частот. При передаче сигнала с одной боковой полосой частот соседние каналы можно располагать почти в 2 раза ближе, чем при передаче двухполосного сигнала. А это позволяет более эффективно использовать частотный диапазон, занимая его освободившийся участок, например, радиовещательными станциями с частотной модуляцией. Надо сказать, что выигрыш при этом получается немалый. Если предположить, что имеется 12 телевизионных каналов, то при подавлении боковых полос, занимающих примерно участок в 6,25 *Мгц* для каждого канала, освободится участок диапазона шириной 75 *Мгц*.

Другое преимущество заключается в упрощении конструкции радиочастотных цепей приемника (в связи с уменьшением почти вдвое необходимой полосы пропускания).

Как же получить телевизионный радиосигнал с одной боковой полосой частот?

Амплитудная модуляция радиосигнала осуществляется в одном из каскадов телевизионного передатчика — модуляторе (рис. 38). На этот каскад, работающий в нелинейном режиме, одновременно подаются полный телевизионный видеосигнал и немодулированный высокочастотный сигнал на несущей частоте.

На выходе каскада получается модулированный по амплитуде высокочастотный сигнал, содержащий обе боковые полосы частот.

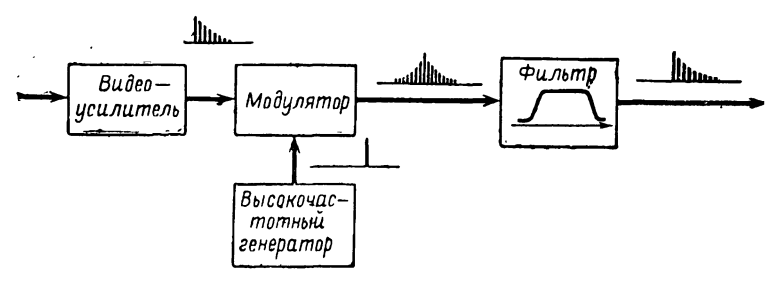


Рис. 38.

Для того чтобы избавиться от одной из боковых полос, надо поставить фильтр, который пропускал бы только сигналы в пределах одной боковой полосы частот и сигнал несущей частоты.

В радиотехнических устройствах часто применяют фильтры с так называемой П-образной частотной характеристикой. Такой фильтр

дает резкий спад усиления на крайних частотах. На первый взгляд кажется, что такой фильтр является весьма подходящим для подавления одной боковой полосы частот телевизионного сигнала. Но здесь возникает ряд серьезных осложнений, которые связаны с необходимостью соблюдения условий неискаженной передачи формы телевизионного сигнала. Если частотная характеристика фильтра, подавляющего боковую полосу, имеет резкие спады на граничных частотах, то в области этих частот фазовая характеристика окажется резко нелинейной.

Значит, на частотах, расположенных вблизи несущей и на конце боковой полосы, появятся фазовые искажения. Так как составляющие спектра радиосигнала, расположенные рядом с несущей частотой, соответствуют низкочастотным составляющим видеосигнала, то их фазовые искажения приведут к появлению тянучек и других дефектов, искажающих распределение яркости крупных участков изображения. Составляющие спектра, максимально удаленные от несущей частоты, соответствуют высокочастотным составляющим спектра видеосигнала. Их фазовые искажения приводят к уменьшению четкости изображения и появлению окантовок. Отсюда следует, что к выбору частотной характеристики фильтра, подавляющего одну из боковых полос спектра радиосигнала, надо подходить с осторожностью. Прежде всего следует позаботиться о том, чтобы склоны частотной характеристики были не резкими, а пологими — это позволит приблизиться к линейной фазовой характеристике.

Особое внимание должно быть обращено на склон частотной характеристики в области несущей частоты, так как фазовые искажения в этой области вызывают искажения распределения яркости крупных участков изображения. Этот склон частотной характеристики должен быть как можно более пологим. Противоположный склон частотной характеристики может быть несколько круче. Различие требований к крутизне частотной характеристики «слева» и «справа» объясняется рядом причин.

Во-первых, амплитуды низкочастотных составляющих значительно больше, чем высокочастотных, и поэтому искажения в области нижних частот сильнее сказываются на форме сигнала. Кроме того, если высокочастотный срез характеристики соответствует частотам сигнала в 5—6 *Мгц,* то выбросы и колебательные процессы на пологой части импульса сигнала приводят к появлению весьма тонких штрихов окантовки, с присутствием которых на изображении еще можно мириться.

ГЛАВА ПЯТАЯ

РАДИОСИГНАЛ В ЦЕПЯХ ТЕЛЕВИЗИОННОГО ПРИЕМНИКА

Преобразование спектра сигнала в цепях приемника

Формирование пологого склона частотной характеристики во всех телевизионных системах начинается в цепях передатчика и заканчивается в приемнике. Рассмотрим, как это выполняется применительно к нашему телевизионному стандарту.

Частотная характеристика телевизионного передатчика имеет вид, показанный на рис. 39,*а*. Верхняя боковая полоса частот передается полностью *. В пределах нижней боковой полосы остается неподавленный участок протяженностью 0,75 *Мгц*, а затем начинается спад характеристики. Частотная характеристика имеет большой горизонтальный участок.

Высокочастотный сигнал с частично подавленной нижней боковой полосой частот поступает в антенну и излучается в пространство. Вместе с ним передается на отдельной несущей частоте $f_{н.зв}$ сигнал звукового сопровождения телевизионной передачи.

Сигнал несущей частоты звукового сопровождения модулируется звуковым сигналом не по амплитуде, а по частоте. Применение частотной модуляции позволяет улучшить качество приема сигналов звукового сопровождения. Это объясняется тем, что при модуляции сигнала по частоте оказывается возможным подавить все помехи, искажающие амплитуды сигнала.

При этом возникает вопрос: почему же тогда не использовать частотную модуляцию в канале изображения?

Дело в том, что спектр сигналов высококачественного звукового сопровождения занимает не более 15 *кгц*. При этом достигается достаточно хорошее воспроизведение как речи, так и музыки. Но при частотной модуляции спектр радиосигнала получается значительно более широким и более сложным по структуре, чем при амплитудной модуляции.

Так, например, если при амплитудной модуляции сигналом звуковой частоты 15 *кгц* спектр радиосигнала имеет ширину 30 *кгц*, при частотной модуляции он может в зависимости от ряда обстоятельств иметь ширину до нескольких десятков *кгц*. По нашему стандарту для передачи звукового сопровождения отводится полоса частот 250 *кгц*.

Если бы использовать частотную модуляцию для канала изображения, то при ширине спектра видеосигнала, равной 5—6 *Мгц*, ширина спектра радиосигнала составила бы несколько десятков,

---

* В принципе можно было бы подавлять верхнюю боковую полосу частот, а передавать нижнюю, так как с точки зрения содержания информации об изображении обе боковые полосы совершенно одинаковы.

а то и сотен мегагерц. Передача сигнала со столь широким спектром принципиально возможна, но связана со значительным усложнением аппаратуры. Поэтому в канале изображения осуществляется амплитудная, а не частотная модуляция.

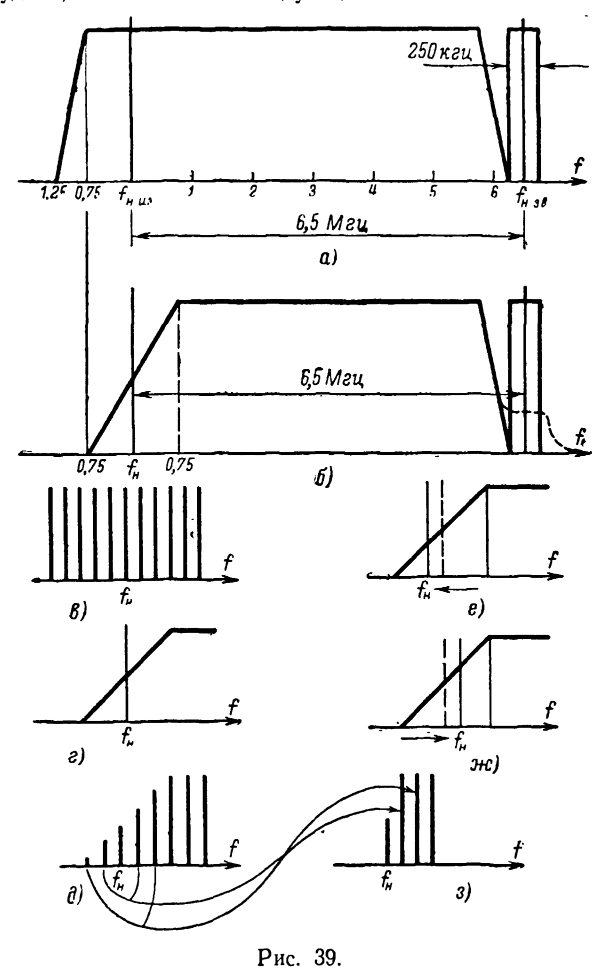


Рис. 39.

Антенна приемника должна иметь такую полосу пропускания, чтобы можно было принимать сигналы любого телевизионного канала, который используется в данной местности. Если это невозможно, то должно применяться несколько переключаемых антенн. Усилитель высокой частоты приемника (УВЧ), в отличие от антенны должен пропускать только сигналы изображения и звука того канала, который в данное время интересует телезрителя, и подавлять сигналы прочих каналов.

Теперь мы на время оставим в стороне сигнал звукового сопровождения и рассмотрим, как происходит передача сигнала изображения по цепям приемника.

Усилитель промежуточной частоты (УПЧ) является основным узлом, который формирует частотную характеристику телевизионного приемника.

Какова же должна быть форма этой частотной характеристики?

Как мы уже говорили, прежде всего необходимо добиться плавного спада частотной характеристики в области несущей частоты изображения. В соответствии с нашим стандартом спад занимает участок частот по 0,75 *Мгц* в обе стороны от несущей частоты (рис. 39,*б*). При этом спад частотной характеристики оказывается достаточно пологим. Фазовая характеристика близка к линейной, и поэтому фазовые искажения в области нижних частот незначительны.

Следует обратить внимание на положение несущей частоты канала изображения относительно частотной характеристики. Несущей частоте соответствует уровень усиления, равный 50% максимального. При этом оказывается возможным сохранить те же амплитудные соотношения между отдельными низкочастотными составляющими спектра, которые имели место в исходном сигнале.

Чтобы понять, как это происходит, предположим, что в спектре видеосигнала есть ряд составляющих с одинаковыми амплитудами Тогда в спектре радиосигнала справа и слева от несущей частоты $f_н$ также появятся составляющие с одинаковыми амплитудами (рис. 39,*в*).

После прохождения сигнала через УПЧ произойдет изменение амплитуд составляющих (рис. 39,*г, д*). По графикам, показанным на рис. 39,*д, з,* можно заметить, что амплитуды симметричных составляющих в сумме равны амплитуде одной из этих составляющих до поступления сигнала на УПЧ*. Это означает, что с точки зрения амплитудных уровней сигнала совершенно безразлично, принимать ли сигнал только на одной боковой полосе частот (с резким спадом частотной характестирики в районе несущей частоты) или же принимать его с частичным подавлением некоторого количества составляющих вблизи несущей частоты. Однако если бы спад частотной характеристики был резким, то, как мы знаем, появились бы сильные фазовые искажения.

Из всех частот спектра, находящихся в районе склона частотной характеристики УПЧ, остается «обиженной» только несущая частота $f_н$ — ее амплитуда уменьшается вдвое. Но оказываетя, что это имеет большой практический смысл. Подавление одной боковой полосы частот приводит к уменьшению глубины модуляции телевизионного радиосигнала. Если же уменьшить амплитуду сигнала несущей частоты, то глубина модуляции при этом увеличится. Это оказывается полезным, так как напряжение, получаемое на выходе детектора, зависит от глубины модуляции радиосигнала: чем она больше, тем больше размах видеосигнала на выходе детектора.

Произвольное уменьшение или увеличение уровня несущей частоты приводит к искажению изображения. Если сместить несущую частоту влево, то низкие частоты спектра окажутся ослабленными по сравнению с более высокими (рис. 39,*е*). Этот случай примерно

* Коэффициент усиления считаем равным 1.

соответствует показанному на рис. 23,*в*, где изображены искажения сигнала при уменьшении доли низкочастотной составляющей по сравнению с высокочастотными. Следовательно, сдвиг несущей частоты влево приведет к искажению пологой части импульса сигнала и вызовет неправильную передачу распределения яркостей крупных участков изображения.

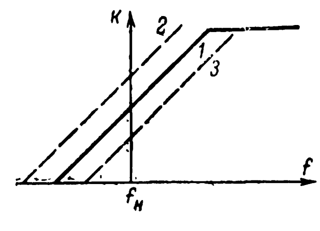


Рис. 40.

При сдвиге несущей частоты вправо, наоборот, увеличится доля низкочастотных составляющих по сравнению с высокочастотными (рис. 39,*ж*). Это примерно соответствует случаю, показанному на рис. 23,*в*. Четкость изображения понизится за счет завала фронта импульса сигнала, мелкие детали будут утеряны.

Всегда ли несущая частота должна располагаться так, чтобы ее уровень составлял 50%?

Как показывает опыт, в зависимости от условий приема телевизионного сигнала и настройки антенны иногда оказывается желательным изменение уровня несущей примерно от 20 до 80% от максимума. Поэтому в некоторых телевизионных приемниках специально вводится регулировка уровня несущей. При этом склон частотной характеристики может перемещаться так, как показано на рис. 40.

На рис. 39 частотные характеристики цепей передатчика и приемника изображены одна под другой для того, чтобы можно было установить соответствие между их отдельными участками.

Оказывается, что в приемнике при преобразовании сигнала высокой частоты в сигнал промежуточной частоты происходит дополнительный процесс «оборачивания» спектра.

Сущность этого процесса сводится к следующему (рис. 41). Частота гетеродина $f_г$ берется более высокой, чем несущая частота сигнала изображения (рис. 41,*а*). По нашему стандарту разность между частотами $f_{н.из}$ и $f_г$ составляет 38 *Мгц* (в приемниках старого выпуска 34,25 *Мгц*).

Преобразователь частоты работает в нелинейном режиме. Поэтому при воздействии на него сигналов с частотами $f_г$ и $f_{н.из}$ возникают новые, так называемые комбинационные частоты, из которых практически используется в качестве промежуточной частоты канала изображения разностная частота $f_{пр.из}$:

$$f_{пр.из} = f_г - f_{н.из} = 38\ Мгц.$$

Теперь представим себе, что слева от несущей частоты $f_{н.из}$ расположена некоторая частота спектра радиосигнала f_1, а справа — частота f_2 (рис. 41,*в*).

В преобразователе частоты появятся сигналы с частотами $f_г - f_1$ и $f_г - f_2$, причем $f_г - f_1 > f_г - f_2$. Значит, сигналу с частотой f_1 после преобразования будет соответствовать сигнал с частотой $f_г - f_1$, большей чем $f_г - f_2$, а сигналу с частотой f_2 будет соответствовать сигнал с частотой $f_г - f_2$, меньшей чем $f_г - f_1$. Произойдет «оборачивание» спектра (рис. 41,*в*).

Применительно к сигналу с частично подавленной боковой полосой частот спектр на промежуточной частоте будет представлять собой зеркальное изображение спектра на высокой (несу-

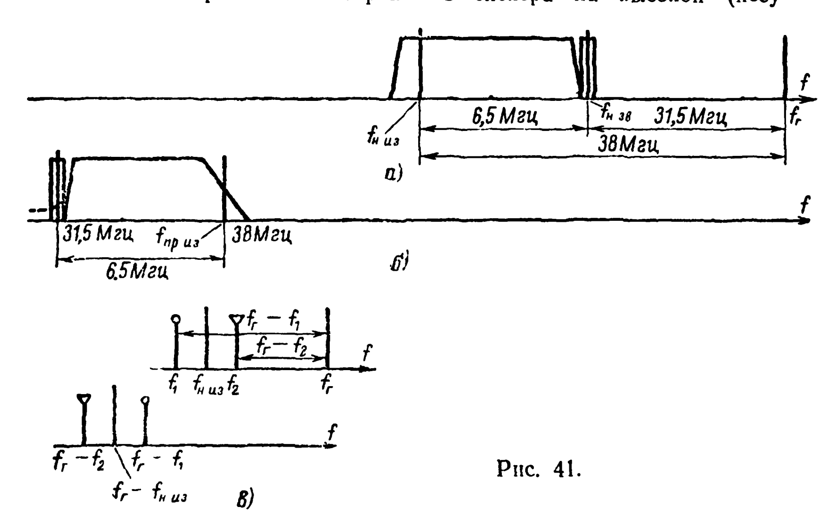


Рис. 41.

щей) частоте. Получается, что *на промежуточной частоте оказывается подавленной не нижняя, а верхняя боковая полоса частот.*

Пологий склон частотной характеристики УПЧ должен располагаться в области промежуточной частоты изображения. Следовательно, частотная характеристика УПЧ (рис. 41,*б*) тоже окажется зеркально повернутой по сравнению с рис. 39.

Следует заметить, что по форме огибающей сигнал промежуточной частоты ничем не будет отличаться от сигнала высокой частоты. Это объясняется равноценностью обеих боковых полос спектра. Изменится лишь частота несущих колебаний. После детектирования получится телевизионный видеосигнал, который затем поступает на видеоусилитель приемника (очевидно, что детектор не должен вносить фазовых или частотных искажений).

Дальнейший путь сигнала в приемнике нам уже ясен. С выхода видеоусилителя сигнал вводится в цепь модулятора кинескопа, а также подается на амплитудный селектор системы синхронизации. Здесь срезается видеосигнал изображения и остаются лишь строчные и кадровые синхроимпульсы. Затем эти импульсы разделяются по разным цепям. После интегрирующей цепи выделяются длинные кадровые синхроимпульсы, а после дифференцирующей — короткие строчные синхроимпульсы. С помощью этих импульсов осуществляется синхронизация генераторов строчной и кадровой разверток.

Прием сигнала звукового сопровождения

Теперь нам следует вернуться к вопросу о приеме сигнала звукового сопровождения.

Как видно из рис. 41,*а*, несущая частота сигнала звукового сопровождения располагается на оси частот выше несущей частоты изображения на 6,5 *Мгц*.

В спектре сигнала звукового сопровождения передаются обе боковые полосы. При частотной модуляции спектр получается более широким, чем при амплитудной: наивысшая модулирующая звуковая частота не превосходит 15 *кгц*, а ширина спектра составляет 250 *кгц*. Этот спектр имеет более сложную форму, чем при амплитудной модуляции.

В результате преобразования частоты спектр сигнала звукового сопровождения переходит в область «промежуточной частоты звука», которая на 6,5 *Мгц* ниже промежуточной частоты изображения. Поскольку спектр сигнала звукового сопровождения никак не зависит от спектра сигнала изображения, то можно после преобразователя частоты разделить эти сигналы по отдельным каналам.

Сигнал изображения можно выделить с помощью фильтра, настроенного на промежуточную частоту изображения и имеющего форму частотной характеристики, аналогичную показанной на рис. 41,*б*. Для выделения сигнала звукового сопровождения нужен фильтр, настроенный на промежуточную частоту звука. Форма частотной характеристики этого фильтра показана на рис. 42,*а*.

Выделенный сигнал звукового сопровождения усиливается в УПЧ, настроенном на промежуточную частоту звука. Затем после ограничения сигнала по амплитуде осуществляется детектирование частотно-модулированного сигнала, в результате чего выделяется сигнал звуковой частоты. Этот сигнал проходит через усилитель низкой частоты и подается на громкоговорители.

Приемник, в котором разделение каналов изображения и звука осуществляется сразу после преобразователя частоты, называется двухканальным. В двухканальном приемнике предъявляются весьма жесткие требования к стабильности частоты гетеродина приемника. Уход частоты гетеродина по сути дела равносилен дополнительной частотной модуляции сигнала на промежуточной частоте звука, что в конечном счете приводит к искажению звука. Поэтому в подавляющем большинстве телевизионных приемников используется так называемый метод одноканального приема.

При этом сигналы изображения и звука не разделяются после преобразования частоты, а проходят по одному и тому же тракту усиления промежуточной частоты. Для этого форма частотной характеристики УПЧ изменяется так, чтобы, кроме сигнала изображения, через УПЧ проходил и сигнал на промежуточной частоте звука (рис. 42,*б*). Правда, усиление сигнала звука в общем канале УПЧ составляет всего 10—20% максимального усиления сигнала изображения. Однако опыт показывает, что этого вполне достаточно.

Как же происходит разделение сигналов изображения и звука в одноканальном приемнике?

Сигналы изображения и звукового сопровождения с выхода УПЧ подаются на детектор. В результате детектирования образуется видеосигнал изображения. Поскольку детектор работает в нелинейном режиме, на его выходе могут появиться различного рода

комбинационные частоты, которых не было в исходном сигнале. К их числу относится, например, частота, равная разности промежуточных частот изображения и звука

$$f_{пр.из} - f_{пр.зв} = 6{,}5\ Мгц.$$

Каждая из составляющих спектра сигнала звука образует с несущей частотой изображения свои разностные частоты, кото-

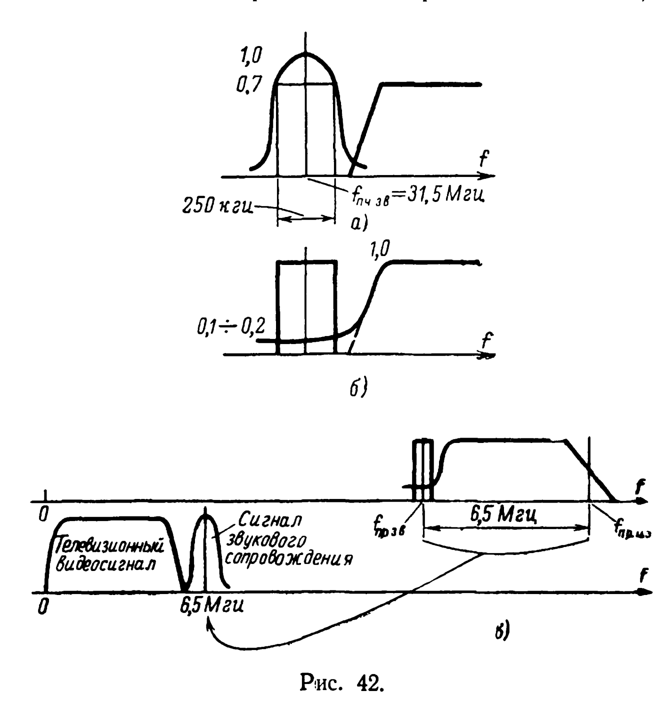


Рис. 42.

рые располагаются слева и справа от частоты 6,5 *Мгц*. Спектр частотно-модулированного сигнала звука полностью переносится в область частоты 6,5 *Мгц* (рис. 42,*в*). То же произойдет, если сигнал звукового сопровождения на промежуточной частоте $f_{пр.зв}$ подать на дополнительный преобразователь частоты вместе с сигналом гетеродина, работающим на частоте $f_{пр.из}$. Появится частотно-модулированный сигнал на новой промежуточной частоте звука $f_{пр.из} - f_{пр.зв}$.

В одноканальном приемнике роль второго преобразователя выполняет детектор видеосигнала, а вместо того чтобы подавать сигнал от дополнительного гетеродина, просто используется сигнал на промежуточной частоте изображения.

Вот теперь после детектора и происходит разделение сигналов изображения и звука.

Спектр сигнала на нагрузке детектора содержит (рис. 42,*в*): составляющие спектра видеосигнала изображения с частотами от 0 до 6,25 *Мгц;* составляющие спектра частотно-модулированного сигнала звука, располагающиеся около второй промежуточной частоты звука 6,5 *Мгц* в полосе 250 *кгц*.

Видеоусилитель канала изображения имеет такую частотную характеристику, что все составляющие спектра выше частот 6,25 *Мгц* подавляются. Кроме того, для уменьшения возможности попадания сигнала звука в канал изображения помещается специальный фильтр, подавляющий сигналы с частотами выше 6,25 *Мгц*. Поэтому на входе кинескопа остается только сигнал изображения.

На входе канала звука, напротив, ставится фильтр, который подавляет сигнал изображения и пропускает только составляющие спектра сигнала звука.

В канале звукового сопровождения имеется усилитель, настроенный на вторую промежуточную частоту звука 6,5 *Мгц*. Затем сигнал проходит через частотный детектор, на выходе которого выделяется сигнал звуковой частоты. Этот сигнал усиливается в усилителе низкой частоты и подается на громкоговорители.

Основное преимущество метода одноканального приема заключается в том, что вторая промежуточная частота 6,5 *Мгц* оказывается чрезвычайно стабильной. Частота 6,5 *Мгц* получается в конечном счете как разность несущих частот сигналов изображения и звука. Эти частоты задаются телецентром, где принимаются самые жесткие меры для увеличения стабильности генераторов. Нестабильность же частоты гетеродина приемника при использовании метода одноканального приема никак не влияет на величину разностной частоты 6,5 *Мгц*.

При одноканальном приеме приходится обращать внимание на ряд обстоятельств, связанных с одновременным прохождением сигналов изображения и звука по цепям усилителя промежуточной частоты и детектора.

Прежде всего необходимо, чтобы частотная характеристика УПЧ в области расположения промежуточной частоты звука имела горизонтальный участок протяженностью не менее 200 *кгц* (рис. 42,*б*).

Допустим, что это условие не выполняется и частотная характеристика имеет наклон (рис. 43). Сигнал звукового сопровождения имеет частотную модуляцию. Частота сигнала непрерывно изменяется в пределах $\pm\Delta f$. За счет наклона частотной характеристики в такт с изменением частоты будет изменяться и амплитуда сигнала звукового сопровождения. Это будет равносильно появлению амплитудной модуляции сигнала звукового сопровождения. На выходе детектора появятся составляющие со звуковыми частотами, которые перекроются с низкочастотными составляющими спектра сигнала изображения. Это приведет к появлению на изображении помех в виде темных и светлых полос, перемещающихся в такт со звуковым сигналом.

Это явление отсутствует, если участок частотной характеристики в области промежуточной частоты звука является горизонтальным

Вторая особенность одноканального приема связана с тем, что любая из составляющих спектра сигнала звука образует свою «разностную частоту» не только с промежуточной частотой изобра-

жения, но и с любой другой составляющей спектра сигнала изображения.

В результате этого сигнал на второй промежуточной частоте звука 6,5 *Мгц* приобретает дополнительную амплитудную модуляцию, причем огибающая модулированного сигнала соответствует форме видеосигнала изображения. Это могло бы создать помехи в канале звука. Однако в канале звука перед частотным детектором устанавливается амплитудный ограничитель, который срезает с сигнала все помехи, уравнивая амплитуды. Остается только частотная модуляция сигналом звукового сопровождения. Частотный детектор выделяет сигнал звуковой частоты, соответствующий закону частотной модуляции.

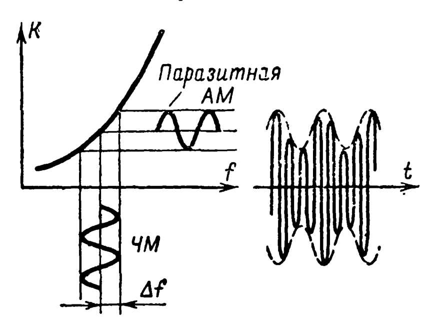


Рис. 43.

Еще одна особенность одноканального приема заключается в том, что уровень белого в сигнале изображения не доходит до нуля, а составляет не менее 10—15% максимальной величины сигнала. Это делается для того, чтобы в приемнике все время имелся сигнал промежуточной частоты изображения, который необходим для получения разностной частоты 6,5 *Мгц*. Очевидно, что в моменты достижения нуля сигналом изображения одновременно пропадал бы и звук, так как при этом не мог бы образоваться сигнал на частоте 6,5 *Мгц*.

Частотная характеристика приемника

Мы видели, что частотная характеристика усилителя промежуточной частоты телевизионного приемника имеет весьма своеобразную форму. Поскольку основное усиление сигнала происходит именно на промежуточной частоте, можно сказать, что частотная характеристика приемника в целом имеет такую же форму.

Как же добиться получения требуемой формы частотной характеристики УПЧ?

Существует ряд способов решения этой задачи. Наиболее простой из них заключается в применении ряда колебательных контуров, настроенных на разные частоты (рис. 44,*а*).

Общая частотная характеристика УПЧ, получающаяся путем перемножения ординат частотных характеристик отдельных каска-

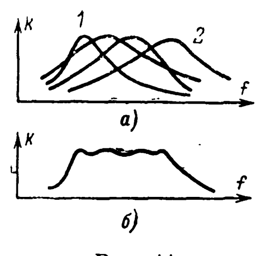


Рис. 44.

дов, близка по форме к требуемой (рис. 44,*б*).

Пологий правый скат характеристики получается за счет того, что контур *2* имеет пологую частотную характеристику (добротность этого контура невелика). Напротив, за счет контура *1* с большей добротностью получается более резкий спад частотной характеристики слева.

Для дальнейшего уточнения формы частотной характеристики устанавливаются еще так называемые режекторные контуры, которые обладают острой резонансной характеристикой и поглощают энергию вблизи резонанса, уменьшая усиление УПЧ. Режекторный контур применяется, например, для того чтобы образовать горизонтальный участок частотной характеристики вблизи промежуточной частоты звука. Усилители промежуточной частоты с режекторными контурами сложны в регулировке. Поэтому в последнее время отдается предпочтение другим схемам УПЧ, в которых применяются специальные избирательные схемы: *Т*-контур, *П*-контур и др.

На рис. 45,*а* показан каскад УПЧ с *Т*-контуром. Этот контур имеет несколько резонансных частот, на которых усиление либо максимально, либо минимально. Частотная характеристика каскада с *Т*-контуром показана на рис. 45,*б*.

Следует отметить, что при выборе формы частотной характеристики УПЧ учитывается также необходимость подавления мешающих сигналов, которые могут создавать телецентры, работающие на соседних каналах. Поэтому добиваются того, чтобы за пределами рабочего участка спектра сигнала изображения происходил максимально быстрый спад частотной характеристики. Подавление так называемых зеркальных радиостанций осуществляется, как в обычном супергетеродинном приемнике, за счет избирательности усилителя высокой частоты.

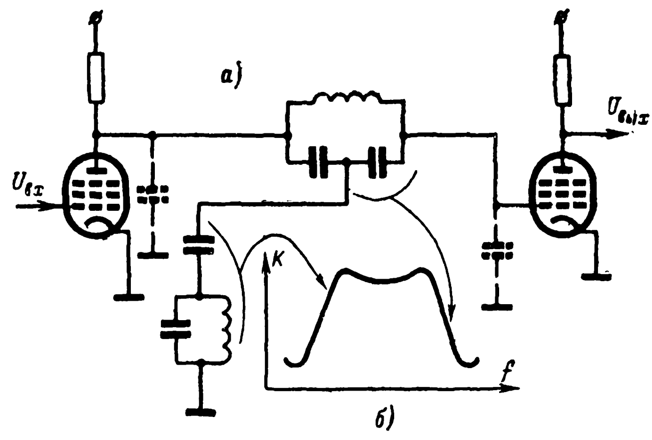


Рис. 45.

Иногда для подавления радиопомех применяют специальные фильтры, которые устанавливают на входе приемника. Фильтр должен препятствовать прохождению сигналов в пределах ширины спектра помехи. Проще всего применить такой фильтр, если спектр помехи не перекрывается со спектром сигнала (рис. 46,*а*). При перекрытии этих спектров (рис. 46,*б*, *в*) могут оказаться полезными

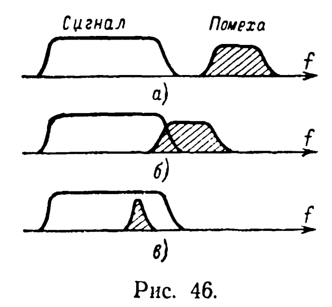


Рис. 46.

режекторные контуры. Для ослабления мешающего действия помехи можно использовать также пространственную направленность антенны, поскольку антенна неодинаково интенсивно принимает сигналы, приходящие с различных направлений. Изменение ориентации антенны в ряде случаев позволяет снизить влияние помех.

Настройка приемника

Помимо получения заданной формы частотной характеристики, важное значение имеет правильная настройка приемника.

В блоке переключателя телевизионных каналов ПТК находятся сменные контуры, которые в заводских условиях точно настраиваются на несущие частоты соответствующих телевизионных каналов и в дальнейшем не перестраиваются.

Положение частотной характеристики УПЧ на оси частот также определяется предварительной заводской настройкой. Середина пологого склона характеристики должна соответствовать промежуточной частоте изображения 38 *Мгц*, а середина горизонтального участка слева — промежуточной частоте звука 31,5 *Мгц*.

В процессе эксплуатации настройка телевизионного приемника сводится к тому, чтобы, изменяя частоту гетеродина, добиться правильного расположения спектра сигналов изображения и звука относительно частотной характеристики УПЧ.

Посмотрим, какие искажения сигналов будут возникать при неточной установке частоты гетеродина.

На рис 47,*а*, *б* показано: фиксированное положение спектра сигналов на несущих частотах изображения и звука (для заданного канала): фиксированное положение частотной характеристики УПЧ на оси частот; номинальное значение частоты гетеродина $f_г$, при которой достигается правильное положение спектра сигнала относительно частотной характеристики УПЧ.

Допустим, что фактическое значение частоты гетеродина $f'_г$

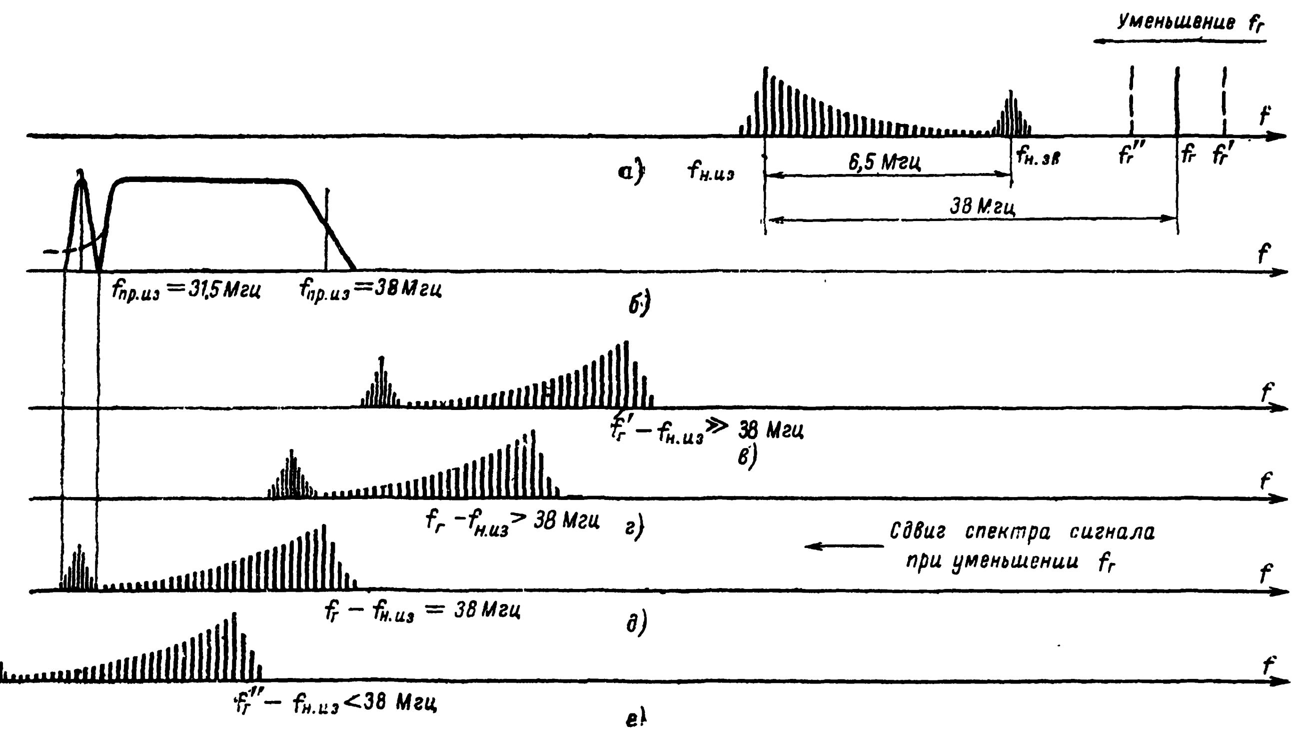

Уменьшение $f_г$
f
а)
$f_{н.из}$
6,5 Мгц
$f_{н.зв}$
38 Мгц
$f_г''$
$f_г$
$f_г'$
f
$f_{пр.из} = 31,5$ Мгц
$f_{пр.из} = 38$ Мгц
б)
f
$f_г' - f_{н.из} \gg 38$ Мгц
в)
f
$f_г - f_{н.из} > 38$ Мгц
г)
Сдвиг спектра сигнала
при уменьшении $f_г$
f
$f_г - f_{н.из} = 38$ Мгц
д)
f
$f_г'' - f_{н.из} < 38$ Мгц
е)

Рис. 47.

значительно больше номинального значения $f_г$. Тогда весь спектр сигнала промежуточной частоты окажется сдвинутым вправо относительно частотной характеристики, поскольку разностная частота $f'_г - f_{н.из}$ окажется значительно больше, чем промежуточная частота $f_{пр.из} = f_г - f_{н.из}$ (рис. 47,*в*).

При плавной перестройке гетеродина в сторону уменьшения его частоты спектр сигнала разностной частоты начнет перемещаться влево по оси частот. Первым попадает внутрь полосы пропускания УПЧ спектр сигнала звукового сопровождения (рис. 47,*г*). По экрану телевизора поплывут полосы изменяющейся яркости. Звук будет отсутствовать.

При дальнейшем уменьшении частоты гетеродина появится изображение, которое вначале будет нечетким, а синхронизация может сбиваться в связи с искажениями синхроимпульсов. Помехи от звукового сопровождения останутся.

Интересно отметить, что когда внутрь полосы пропускания попадают только составляющие спектра, несущие информацию о мелких деталях и контурах изображения (рис. 47,*г*), то на экране телевизора может получиться некоторое подобие контурного изображения.

При точной установке номинального значения частоты гетеродина будет достигнуто наилучшее качество изображения. Будет передаваться и звуковое сопровождение (рис. 47,*д*).

При дальнейшем уменьшении частоты гетеродина сначала пропадает звук, затем качество изображения будет все более ухудшаться, синхронизация станет неустойчивой, а затем сорвется.

Следует заметить, что при недостаточно тщательной отладке каскадов УПЧ может наблюдаться несовпадение настроек канала изображения и канала звукового сопровождения. При этом оказывается, что разность по частоте между фактическими положениями настройки обоих каналов не равна 6,5 *Мгц*. Поэтому при наилучшем качестве изображения звук будет ослаблен, а при наиболее громком звуке изображение окажется недостаточно хорошим.

Во время работы телевизора возможны некоторые изменения положения спектра сигнала изображения относительно частотной характеристики УПЧ за счет нестабильности частоты гетеродина. Допустим, например, что за счет нестабильности частота гетеродина может изменяться на ±0,03% ее номинального значения. При частоте гетеродина 115,25 *Мгц* (3-й канал) уход частоты составит ±35 *кгц*. Однако такой уход частоты практически не отразится на сигнале изображения, ширина спектра которого составляет 6 *Мгц*. Нестабильность частоты гетеродина приемника не окажет влияния и на канал звукового сопровождения, если в этом канале используется разностная частота 6,5 *Мгц*.

В телевизорах наиболее высокого класса для устранения дефектов, связанных с уходом частоты сигнала изображения, иногда применяют схемы автоматической подстройки частоты (АПЧ) гетеродина.

Принцип действия такой схемы сводится к следующему: если фактическое значение частоты гетеродина начинает отличаться от номинального, то схема частотного детектора вырабатывает управляющее напряжение, под воздействием которого частота гетеродина изменяется в нужном направлении, пока не будет достигнуто ее номинальное значение. Применение схемы АПЧ позволяет также устранить необходимость в подстройке телевизора после перехода с одного канала на другой.

Усиление сигнала в приемнике

Величина электродвижущей силы, которая наводится в антенне телевизионного приемника, зависит от напряженности электромагнитного поля, создаваемого телецентром в месте приема, а также от типа применяемой антенны и ее ориентации в пространстве. Напряженность электромагнитного поля в свою очередь зависит от мощности передатчика и от расстояния между телецентром и приемником.

Для типовых условий приема можно определить достижимую величину напряжения на входе приемника $U_{вх}$. Затем, зная максимальный размах сигнала на модуляторе кинескопа $U_{вых}$, можно найти необходимый коэффициент усиления приемника:

$$K = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}.$$

В среднем, эта величина составляет $2 \cdot 10^5 \div 5 \cdot 10^5$.

Общий коэффициент усиления приемника равен произведению коэффициентов усиления всех элементов его тракта: УВЧ и преобразователя частоты, УПЧ, детектора и видеоусилителя.

В среднем можно считать, что $K_{УВЧ+преобраз.\ част} = 25$, $K_{дет} = 0{,}4 \div 0{,}5$; $K_{УПЧ} = 1\,000$, $K_{ВУ} = 20$.

Заметим, что эти величины определяют необходимое число каскадов приемника. Обычно УВЧ и видеоусилитель имеют по одному каскаду, а УПЧ — 3—4 каскада.

Величина напряжения на входе приемника, при котором обеспечивается получение высококачественного напряжения, характеризует **чувствительность телевизионного приемника**. Для типовых телевизоров эта величина находится в пределах 50—200 *мкв*.

Конечно, было бы лучше, если бы телевизор смог хорошо работать при меньшем напряжении на входе, например, 10 *мкв*.

Во-первых, это бы означало, что можно уменьшить мощность телевизионного передатчика, так как имеется однозначная зависимость между мощностью передатчика, напряженностью электромагнитного поля в месте приема и напряжением на входе приемника. Во-вторых, при той же мощности передатчика можно было бы увеличить дальность приема сигналов телецентра (если, конечно, это позволяют условия прямой геометрической видимости).

Но при входном напряжении 10 *мкв* вместо 50 *мкв* пришлось бы увеличить коэффициент усиления приемника, например, за счет добавления еще одного каскада УПЧ, так как размах сигнала на модуляторе кинескопа не должен измениться.

Однако это не самый главный минус, связанный с уменьшением уровня сигнала на входе приемника.

Главное здесь заключается в том, что с уменьшением полезного сигнала на входе приемника все более начинает сказываться вредное влияние радиопомех, приходящих в антенну приемника от посторонних источников электромагнитных излучений, а также внутренних шумов, возникающих в цепях приемника. В любом резисторе за счет теплового движения электронов появляются хаотические (флуктуационные) токи, которые накладываются на

полезный сигнал. Такие же хаотические токи возникают в электронных лампах и полупроводниках. Отличительная особенность всех флуктуационных токов (шумов) заключается в том, что они равномерно распределены по чрезвычайно широкому участку спектра. Поэтому, чем шире полоса пропускания той или иной электрической цепи, тем большее воздействие оказывают на нее флуктуационные шумы. А ведь в телевизионном приемнике полоса пропускания составляет несколько мегагерц!

Флуктуационные шумы создаются в любом резисторе, в любом электронном приборе. Но самыми вредными из них являются шумы, с которыми полезный сигнал впервые «сталкивается» на входе приемника — во входных цепях и в первой лампе усилителя высокой частоты.

Допустим, что после первого каскада УВЧ отношение между полезным сигналом и шумами равно 20/1 (это отношение обычно называют отношением сигнал/шум). Во всех остальных каскадах как полезный сигнал, так и шумы будут усиливаться в одинаковой пропорции *. Значит, и на модулятор кинескопа, кроме полезного сигнала, поступит шум, причем отношение сигнал/шум будет примерно таким же, как на входе приемника (т. е. 20/1).

Поэтому бороться с шумами надо на входе приемника. Для этого-то и приходится добиваться увеличения уровня полезного сигнала, приходящего на вход приемника из антенны.

Кроме увеличения уровня полезного сигнала можно, конечно, улучшить отношение сигнал/шум, если принять те или иные меры для уменьшения уровня внутренних флуктуационных шумов. Такие меры действительно принимаются. Наиболее эффективными из них — это выбор электронных ламп и полупроводниковых приборов с малым уровнем внутренних шумов, а также применение специальных схем включения этих приборов. Например, в УВЧ многих телевизоров используется так называемая *«каскодная схема»*, в которой применяются триоды вместо пентодов, обладающих большим уровнем внутренних шумов.

Какое же отношение сигнал/шум можно считать допустимым?

Шумы проявляются на изображении в виде хаотически перемещающихся светлых и темных штрихов, которые уменьшают распознаваемость малоразмерных объектов, маскируя их, а также снижают число различимых градаций яркости. Немаловажное значение имеет также собственная «видность» шума на изображении. В среднем можно считать, что все перечисленные эффекты слабо заметны, если отношение сигнал/шум на модуляторе кинескопа не меньше чем 15—25.

Оценив уровень внешних помех и внутренних шумов телевизионного приемника и зная требуемое отношение сигнал/шум, можно найти то минимальное значение уровня полезного сигнала на входе приемника, при котором можно получить высококачественное изображение, свободное от влияния шумов.

Ниже этого уровня сигнал не должен уменьшаться, если даже размах полезного сигнала на кинескопе еще будет достаточно большим, иначе отношение сигнал/шум станет меньше необходимого и качество изображения ухудшится.

Уровень сигнала на входе телевизионного приемника во время

---

* Некоторое изменение этой пропорции может произойти только в детекторе.

работы телевизора может изменяться в довольно значительных пределах. Причинами этого являются нерегулярные изменения условий распространения радиоволн. Уровень сигнала может также изменяться при переходе с одного канала на другой.

Как отразится на работе телевизора отклонение уровня сигнала от его номинального значения?

Размах сигнала (от уровня черного до уровня белого) может увеличиться настолько, что начнется его ограничение за счет появления сеточного тока в лампе видеоусилителя. Значительное уменьшение уровня сигнала приведет к падению яркости и контрастности изображения.

Колебания уровня сигнала отразятся и на работе системы синхронизации. При большом уровне сигнала через амплитудный селектор, кроме импульсов синхронизации, будет проходить сигнал изображения, который в канале синхронизации играет роль помехи. Работа системы синхронизации может быть нарушена. При малом уровне сигнала через амплитудный селектор плохо будут проходить импульсы синхронизации, что также приведет к нарушению работы системы синхронизации.

В канале звукового сопровождения, как мы знаем, также имеется амплитудный ограничитель, который должен «срезать» паразитную амплитудную модуляцию. Если уровень сигнала уменьшится, то амплитудный ограничитель не сможет срезать амплитудную модуляцию. Это приведет к тому, что будет прослушиваться низкий тон кадровой частоты *.

Для устранения быстрых и нерегулярных изменений уровня принимаемого сигнала в телевизионных приемниках используются системы автоматической регулировки усиления (АРУ). Задача системы АРУ заключается в том, чтобы поддержать уровень сигнала на выходе приемника постоянным при случайных колебаниях уровня входного сигнала. В системе АРУ выходной видеосигнал используется для формирования так называемого управляющего напряжения, которое подается на сетки ламп УВЧ и УПЧ в отрицательной полярности.

При увеличении уровня входного сигнала соответственно увеличивается и размах видеосигнала на выходе приемника. Это приводит к возрастанию управляющего напряжения, которое в качестве отрицательного смещения подается на сетки управляемых ламп, что в свою очередь влечет за собой уменьшение общего коэффициента усиления тракта передачи телевизионного сигнала. Размах выходного видеосигнала при этом уменьшается. Напротив, если по каким-либо причинам входной сигнал уменьшится, все процессы идут в обратном направлении и размах выходного видеосигнала увеличивается.

Своеобразие формы телевизионного сигнала приводит к появлению ряда специфических особенностей телевизионной системы АРУ. Во-первых, надо сделать так, чтобы управляющее напряжение, вырабатываемое системой АРУ, не зависело от формы сигнала изображения и его изменений от строки к строке. Если это условие не выполнить, то за счет работы системы АРУ начнут сглаживаться все изменения видеосигнала, обусловленные изменениями яркости отдельных участков изображения. Это приведет к по-

* Более высокие частоты спектра сигнала (например. строчная частота 15 625 *гц*) лежат за пределами частотной характеристики канала звукового сопровождения.

явлению существенных искажений принимаемого изображения. Система АРУ окажется не полезной, а вредной.

Для того чтобы система АРУ не сглаживала изменений сигнала изображения, принимаются различные меры. В частности, фильтр системы АРУ, сглаживающий колебания управляющего напряжения, делается столь инерционным, что не успевает следить за быстрыми изменениями уровней сигнала изображения. Как же тогда работает система АРУ?

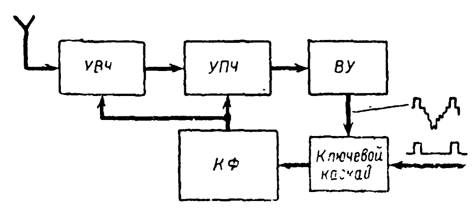


Рис. 48.

Оказывается, что система АРУ телевизионного приемника регулирует размах сигнала изображения не прямым, а косвенным образом. При этом учитывается то обстоятельство, что уровень синхроимпульсов, уровень черного и уровень белого в полном телевизионном сигнале жестко связаны между собой (если уровень синхроимпульсов принять за 100%, то уровень черного составляет примерно 70%, а уровень белого — 10%). Раз эти уровни сигнала однозначно связаны, значит, регулируя один из них, мы одновременно «подтягиваем» до пропорционального значения любой другой уровень.

В телевизионной системе АРУ регулирование осуществляется по уровню синхроимпульсов Управляющее напряжение АРУ формируется с использованием синхроимпульсов, а не сигнала изображения. Работу АРУ «по уровню синхроимпульсов» можно проследить на примере так называемой «ключевой» схемы АРУ (рис. 48).

Особенность этой схемы заключается в том, что на входе системы АРУ дополнительно устанавливается ключевой каскад, который пропускает видеосигнал только в случае прихода дополнительных ключевых импульсов. Эти ключевые импульсы вырабатываются во время обратного хода строчной развертки. А как мы знаем, во время обратного хода развертки передаются синхроимпульсы. Поэтому на выход ключевого каскада проходит не весь видеосигнал, а только синхронизирующие импульсы.

В каскаде формирования управляющего напряжения КФ синхроимпульсы «выпрямляются», т. е. преобразуются в постоянное напряжение пропорциональной величины. Это напряжение используется затем для регулировки коэффициента усиления каскадов УВЧ и УПЧ приемника.

* * *

На этом мы и закончим общее знакомство со свойствами и особенностями телевизионного сигнала.

Для более детального изучения отдельных вопросов, связанных с передачей и приемом телевизионного сигнала, и ознакомле-

ния со схемными решениями отдельных узлов видео- и радиотракта читателю можно рекомендовать, например, следующие книги:

А. М. Халфин, Основы телевизионной техники, Сов. радио, 1955.

Л. Д. Фельдман, Телевизионный прием, «Энергия», 1965.

П. Маркус, Практика телевизионного приема, Связь, 1964.

С. А. Ельяшкевич, Отыскание неисправностей и настройка телевизоров, «Энергия», 1965.

В. Е. Нейман, И. М. Певзнер, Новое в технике приема телевидения, «Энергия», 1964.

В. Ф. Самойлов, Качественные показатели телевизионного изображения, Госэнергоиздат, 1963.

В. Ф. Гугин, Унифицированные телевизоры, Связь, 1966.

Импульсные методы телевизионных измерений под ред. Я. И. Эфрусси, Изд-во иностр. лит., 1961.

Телевидение, под ред. П. В. Шмакова, Связь, 1965.

СОДЕРЖАНИЕ

Шумихин Юрий Артемьевич

Телевизионный сигнал

Редактор *Л. Д. Фельдман*

Технический редактор *Л. М. Кузнецова*

Корректор *И. А. Володяева*

Сдано в набор 22/XI 1967 г.

Подписано к печати 23/I 1968 г. T-00015

Формат 84×108[1]/32 Бумага типографская № 2

Усл. печ. л. 3,78 Уч.-изд. л. 4,84

Тираж 50 000 экз. Цена 20 коп. Зак. 633

Издательство „Энергия". Москва, Ж-114,
Шлюзовая наб., 10.

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Шлюзовая наб., 10.

Цена 20 коп.